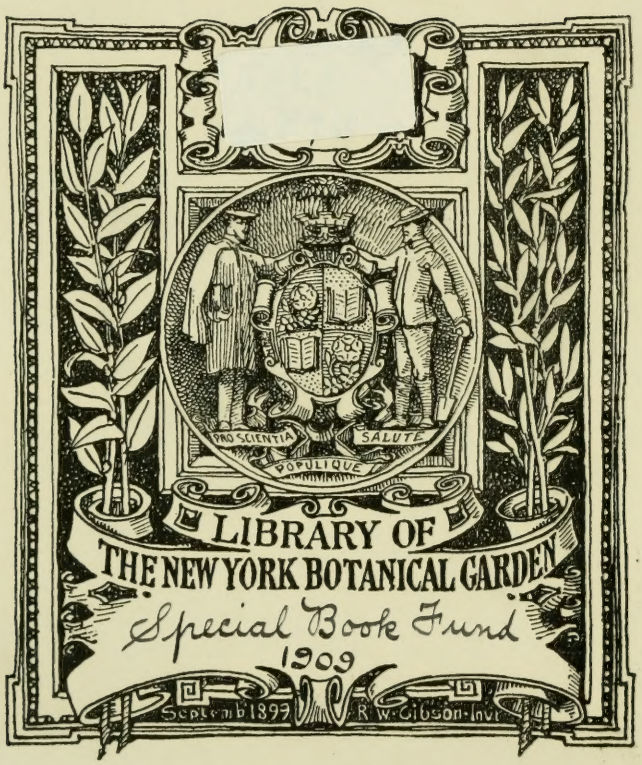

PRO SCIENTIA
SALUTE
POPULIQUE
LIBRARY OF
THE NEW YORK BOTANICAL GARDEN
Special Book Fund
1909
Septemb 1897
R. W. Gibson. Invt.

Untersuchungen

über

Reizerscheinungen bei den Pflanzen.

Mit Berücksichtigung der Einwirkung von Gasen und der geotropischen Reizerscheinungen.

Von

Warwara Polowzow.

Mit 11 Abbildungen und 12 Kurven im Text.

Jena
Verlag von Gustav Fischer
1909.

Die Transpiration der Pflanzen. Eine physiologische Monographie. Von Dr. **Alfred Burgerstein**, a. o. Universitätsprofessor in Wien. 1904. Preis: 7 Mark 50 Pf.

Flora 1905, Bd. XCIV, Heft 3:

Daß eine solche Bearbeitung eines großen, wichtigen Gebietes eine sehr willkommene ist, wird auch der gerne zugeben, der mit des Verf. Anschauungen nicht durchgehends einverstanden ist.

Biochemie der Pflanzen. Von Dr. phil. et med. **Friedrich Czapek**, o. ö. Prof. der Botanik in Prag (jetzt in Czernowitz). Zwei Bände. 1905. Preis: 39 Mark, geb. 41 Mark 50 Pf.

Inhalt: **Geschichtliche Einleitung. Allgemeiner Teil. Spezieller Teil:** Der Kohlenhydratstoffwechsel der Pilze. — Der Kohlenhydratstoffwechsel von Samen und anderen Pflanzenorganen. — Der Eiweißstoffwechsel der Pilze und Bakterien. — Der Eiweißstoffwechsel der Samen und anderer Pflanzenorgane. — Die stickstoffhaltigen Endprodukte des pflanzlichen Stoffwechsels. — Die Sauerstoffaufnahme. — Stickstoffreie Endprodukte des Stoffwechsels. — Die Mineralstoffe im pflanzlichen Stoffwechsel.

Flora oder Allgem. botanische Zeitung 1905, XCIV, 2. Heft:

Hier hat einmal der rechte Mann das rechte Buch geschrieben. Eine moderne Biochemie der Pflanzen kann weder ein Chemiker, noch ein Botaniker schreiben, noch ein Tierphysiolog chemischer Richtung — sondern nur ein Gelehrter, der auf allen drei Gebieten zu Hause und erfolgreich tätig ist. Das ist Czapek, und deshalb ist sein Buch ein gutes geworden.

Zeitschr. für physikalische Chemie, 1905, Heft 2:

Wir haben es hier mit einem groß angelegten Werke zu tun, welches nicht als Einführung des Anfängers in das Gebiet, sondern als ausführliches Handbuch mit möglichst vollständiger Berücksichtigung der Literatur angelegt und ausgeführt ist. Indessen hat sich der Verf. nicht auf eine trockene Zusammenstellung von Auszügen beschränkt, sondern **er hat mit großem Erfolge sich bemüht, überall die Einzelheiten durch allgemeine Gedanken zusammenzuhalten** und die Grund- und Hauptlinien oder Probleme kräftig und sachgemäß hervorzuheben. **Der wissenschaftliche Standpunkt ist von erfreulich moderner Beschaffenheit.**

Prager mediz. Wochenschr. Nr. 1, 1905:

Kein verläßlicher Führer kann da empfohlen werden als unseres Czapek Werk: **ein ähnlich gründliches, vollständiges, trotz Anhäufung und Verarbeitung eines Riesenmaterials immer großzügiges Werk kennt die deutsche botanische Literatur bisher nicht!**

Biologisches Zentralblatt vom 1. März 1905, Bd. XXV, Nr. 5:

Das vielgebrauchte Wort vom „tiefempfundenen Bedürfnis" ist selten wohl so angebracht, wie in Hinsicht auf vorliegendes Buch. . . .

Biologische und morphologische Untersuchungen über Wasser- und Sumpfgewächse. Von Prof. Dr. **Hugo Glück** in Heidelberg. Erster Teil: **Die Lebensgeschichte der europäiscpen Alismaceen.** Mit 25 Textfiguren und 7 lithographischen Doppeltafeln. 1905. Preis: 20 Mark. — Zweiter Teil: **Untersuchungen über die mitteleuropäischen Utricularia-Arten; über die Turionenbildung der Utricularia-Arten; über die Turionenbildung bei Wasserpflanzen, sowie über Ceratophyllum.** Mit 28 Textfiguren und 6 lithographierten Doppeltafeln. 1905. Preis: 18 Mark.

Das kleine pflanzenphysiologische Praktikum. Anleitung zu pflanzenphysiologischen Experimenten. Für Studierende und Lehrer der Naturwissenschaften. Von Dr. **W. Detmer**, Professor an der Universität in Jena. Mit 163 Abbildungen. Zweite, vielfach veränderte Auflage. 1903. Preis: brosch. 5 Mk. 50 Pfg., geb. 6 Mk. 50 Pfg.

Flora 1903, Bd. XCII, Heft 3:

Detmers „Pflanzenphysiologisches Praktikum", welches in zwei Auflagen erschienen ist, ist ein allgemein bekanntes und geschätztes Buch. Der Verf. hat in dem vorliegenden Werke eine unter Berücksichtigung der Bedürfnisse der Studierenden gekürzte und vielfach durch neue Erfahrungen bereicherte Bearbeitung gegeben.

Untersuchungen

über

Reizerscheinungen bei den Pflanzen.

Mit Berücksichtigung der Einwirkung von Gasen und der geotropischen Reizerscheinungen.

Von

Warwara Polowzow.

Mit 11 Abbildungen und 12 Kurven im Text.

LIBRARY
NEW YORK
BOTANICAL
GARDEN.

Jena
Verlag von Gustav Fischer
1909.

771
.P64

Alle Rechte vorbehalten.

LIBRARY
NEW YORK
BOTANICAL
GARDEN

Inhaltsübersicht.

Seite

Einleitung 1

I. Experimenteller Teil.

Abschnitt I. **Abgrenzung des Gebietes der Untersuchung.**

Erstes Kapitel: Vorbemerkungen 4
Zweites Kapitel: Aeromorphosen 9
Drittes Kapitel: Über Aerotropismus 20

Abschnitt II. **Untersuchungen über den Reizvorgang auf Grund der Erscheinungen des Aeroïdotropismus.**

Viertes Kapitel: Allgemeine methodische Erörterungen und Forderungen . 34
Fünftes Kapitel: Speziellere Methodik 44
Sechstes Kapitel: Gang der Reaktion bei der Einwirkung von CO_2 . . . 53
Siebentes Kapitel: Verhalten der *Gramineen* zu CO_2 76
Achtes Kapitel: CO_2-Einwirkung auf die Fruchtträger von *Phycomyces* . 88

Anhang zum Abschnitt II.

Neuntes Kapitel: Untersuchung von N, H und O als möglichen Reizanlässen 101

Abschnitt III. **Einzelne Momente des Reizvorganges.**

Zehntes Kapitel: Zur Frage der Trennung von Perzeption und Reaktion oder von der „direkten“ und „indirekten“ Reizbarkeit (beim Aeroïdotropismus) 121

MAR 31 1909

Seite

Anhang zum zehnten Kapitel: Die Dekapitierungsmethode als selbständige Methode 131

Elftes Kapitel: Zur Frage der Reaktions- und Präsentationszeit mit besonderer Berücksichtigung der geotropischen Reizerscheinungen 134

Zwölftes Kapitel: Zur Frage der Perzeptionszeit 171

II. Methodologischer Teil.

Einleitung 184

Abschnitt I. **Allgemeine Erörterungen** 194

Abschnitt II. **Speziellere Untersuchung** 203

Literaturverzeichnis für den experimentellen Teil 221

„ „ für den methodologischen Teil 226

Einleitung.

Der Zweck dieser Arbeit ist, einigen Erscheinungen des Reizvorganges, hauptsächlich bei den höheren Pflanzen, etwas näher zu treten: den Gang des Prozesses schrittweise zu verfolgen, einige wichtige Momente des Reizvorganges hervorzuheben und näher zu untersuchen. Als Gebiete der Untersuchung habe ich einerseits und hauptsächlich das der Reizbarkeit gegen Gase, andererseits das Gebiet der geotropischen Erscheinungen gewählt. — Im ersten Falle war der Gedanke für meine Wahl bestimmend, daß das Gebiet der Reizbarkeit der Pflanzen gegen Gase bis jetzt so gut wie gar nicht untersucht worden ist und darum auch an sich Interesse bieten konnte. Im zweiten Falle war mir der entgegengesetzte Gedanke wichtig: die geotropischen Erscheinungen können vielleicht zwischen allen Tropismen als die bestuntersuchten und die am meisten diskutierten bezeichnet werden. Darum ist es wünschenswert, jede weitere Differentiation des Prozesses an die geotropischen Erscheinungen anzuknüpfen und jedenfalls sie zu berücksichtigen. Die Arbeit enthält zwei Teile, einen speziellen experimentellen und einen allgemeinen methodologischen[1]). Die Notwendigkeit der beiden Teile war für mich in der Eigentümlichkeit der „physiologischen Auslösungsprozesse" begründet.

1) Über den „experimentellen Teil" ist in der „St. Petersburger Kaiserlichen Naturforschergesellschaft", Sektion Botanik, den 24. Okt. 1907 von mir berichtet worden; über den „methodologischen Teil" ebenda, den 21. Nov. 1907. Vorläufige Mitteilungen über den „experimentellen Teil" s. Journal Botanique, St. Petersburg 1907 und Berichte d. Deutsch. bot. Ges. 1908.

In dem experimentellen Teile habe ich meine größte Aufmerksamkeit auf die Ausarbeitung der mir für die Untersuchung der „physiologischen Auslösungsprozesse" wichtig scheinenden methodischen Forderungen der Versuchsanordnung gerichtet, was mir die Möglichkeit gab, u. a. einige gegen bestimmte Reize als „unempfindlich" bezeichnete Pflanzenteile als „empfindlich" festzustellen, die Reaktionszeiten für die höheren Pflanzen als bedeutend kleiner, wie bis jetzt angenommen wurde, nachzuweisen, und den Gang des Reaktionsprozesses wie auch die Verhältnisse einiger seiner Teile zahlenmäßig und in Kurven auszudrücken.

In dem methodologischen Teile habe ich mir die Aufgabe gestellt, einige bei der Untersuchung der „physiologischen Auslösungsprozesse" unentbehrliche, und doch ihrem Ursprung und ihrem Inhalt nach vieldeutige Begriffe und Ausdrücke einer hauptsächlich logischen Prüfung zu unterwerfen, um die Grenzen ihres wissenschaftlichen Gebrauchs wie auch ihren Erkenntniswert innerhalb dieser Grenzen so weit wie möglich festzustellen. Ich ging dabei von dem Helmholtzschen Gedanken aus, daß ein Physiologe nicht weniger kritisch in seinen „Schlüssen und Deutungen" als in seinen „Tatsachen" und „Versuchsanordnungen" sein soll.

Den experimentellen Teil der Untersuchung habe ich in Bonn a. Rh. in dem botanischen Institute der Landwirtschaftlichen Akademie ausgeführt. Dem so unerwartet früh der erfolgreichen wissenschaftlichen Arbeit entrissenen damaligen Direktor des Instituts, Herrn Professor Dr. Noll, gebührt mein ganz besonderer Dank, sowohl für die ausgezeichneten Arbeitsbedingungen, die er mir geschaffen hat, als für seine wertvollen Ratschläge und das Interesse, das er an meiner Arbeit nahm.

Herrn Geheimrat Professor Dr. Strasburger schulde ich großen Dank für die Erlaubnis, seine reichhaltige Bibliothek während der ganzen Zeit meiner Arbeit zu benutzen, ebenso für einige mir wertvolle Anweisungen.

Für den methodologischen Teil schulde ich Herrn Geheimrat Professor Dr. B. Erdmann den herzlichsten Dank für seine freundliche Unterstützung und viele wichtige Ratschläge.

Freundlichen Dank sage ich auch Herrn Privatdozenten der Philosophie Dr. Erich Becher für die kritische Besprechung einiger Fragen des allgemeinen Teiles.

Zum Schluß sei erwähnt, daß ich diese ganze Arbeit nur als Grundlage für meine weitere Arbeit in dieser Richtung ansehen möchte.

Die zitierten Arbeiten lassen sich, soweit sie nicht wiederholt angegeben sind, leicht nach den Jahreszahlen in dem Literaturverzeichnis am Ende der Arbeit finden.

I. Experimenteller Teil.

Abschnitt I.

Abgrenzung des Gebietes der Untersuchung.

Erstes Kapitel.

Vorbemerkungen.

Die Erscheinungen der Reizbarkeit gegen Gase wurden zuerst durch H. Molisch festgestellt und von ihm als Erscheinungen des Aerotropismus bezeichnet[1]). Unter dem Aerotropismus verstand Molisch die Fähigkeit der Pflanzen durch bestimmte Reaktionsbewegungen auf Luft- oder Gasdifferenzen in ihrer Umgebung zu antworten. Später sind diese Erscheinungen mehr quantitativ vermehrt als qualitativ vertieft worden. Es wurde sogar unter dieser Benennung eine ganze Reihe von Erscheinungen zusammengefaßt, die durchaus nicht als gleichartig angesehen werden dürfen.

Es ist notwendig, von den Erscheinungen des Aerotropismus zuerst die Erscheinungen, die als Aeromorphosen betrachtet werden müssen, zu scheiden[2]). In den letzteren kann Luft resp. Sauerstoff

1) Molisch, H., „Über die Ablenkung der Wurzeln von ihrer normalen Wachstumsrichtung durch Gase (Aerotropismus)". Sitzber. der Kaiserl. Akad. d. Wiss. zu Wien, I. Abt., 1884.

2) Die Bezeichnung der Aeromorphosen soll in dem Sinne verstanden werden, den Pfeffer für alle ähnlichen Fälle der Photomorphosen, Chemomorphosen, Barymorphosen usw. festlegt. Pfeffer, W., „Pflanzenphysiologie", Bd. I, 1897, S. 20, 21; Bd. II, 1904, S. 2, 82.

als morphogener Reizanlaß den Organismus zu Umbildungen oder Neubildungen veranlassen; in den tropistischen Erscheinungen wirkt Luft oder Sauerstoff als orientierender Reizanlaß ein, indem die Einwirkung nur bestimmte Bewegungen in schon vorhandenen Organen hervorruft.[1])

Dann muß in den Erscheinungen des Aerotropismus noch eine weitere Differenzierung durchgeführt werden. Bis jetzt haben Molisch wie auch andere Forscher im Gebiet des Aerotropismus die Wirkung der Luft mit der Wirkung eines ihrer Bestandteile, nämlich des Sauerstoffs, identifiziert. Eine experimentelle Begründung für eine derartige Annahme war bis jetzt und ist auch gegenwärtig nicht vorhanden. Sowohl die Versuche wie auch die theoretischen Erwägungen sprechen vielmehr entschieden gegen ihre Zulässigkeit.

Luft ist ein mechanisches Gemisch vieler Gase. Wenn wir von allen ihren Bestandteilen absehen, die bis jetzt noch nicht als Reizanlaß untersucht worden sind, haben wir mindestens mit zwei wirksamen Bestandteilen zu tun, nämlich mit Sauerstoff und Kohlensäure. Die Reizwirkung des Gemisches aber darf, wie Pfeffer gezeigt hat, in keinem Falle mit der Reizwirkung eines der Bestandteile identifiziert werden.[2]) Noch mehr: die Kraft der Einwirkung des Gemisches darf nicht als eine physikalische Resultante der einwirkenden Kräfte betrachtet werden; und ebenso wird die Reaktion nicht als eine algebraische Summe vieler einzelnen Reaktionen charakterisiert werden können.

Pfeffer sagt darüber folgendes: „Wenn wir mit vollem Rechte bei dem Zusammengreifen von Reizen von einer resultierenden Reaktion reden, so ist doch wohl zu beachten, daß es sich um ein verwickeltes Resultat, also nicht um die physikalische Resultante aus

1) Pfeffer l. c., 1904, S. 85.

2) Pfeffer, W., „Über chemotaktische Bewegungen von Bakterien, Flagellaten und Volvocineen". Unters. aus dem bot. Inst. Tübingen, Bd. II, 1888, Abschn. VIII. „Die Reizschwelle und die Wirkung von Gemischen."

den Aktionen handelt, die durch die beteiligten isolierten Einzelreize hervorgerufen werden. Das ist auch dann nicht der Fall, wenn die Reize gleichsinnig zusammenwirken, also eine gleichgerichtete Bewegung verursachen“ [1]).

Als ein Beispiel der Einwirkung eines Gemisches kann die Reizwirkung des Fleischextraktes dienen, die von Pfeffer in dem in der Anmerkung S. 5 erwähnten Abschnitte „über die Wirkung von Gemischen“ behandelt worden ist.

Wenn wir mit der Erscheinung der Reizeinwirkung eines Gemisches zu tun haben, haben wir demnach zugleich mit einer einheitlichen und mit einer komplizierten Erscheinung zu tun, so daß viele einzelne Einwirkungen in der Perzeption des reagierenden Organismus vereinheitlicht sind.

Auf Grund dieser Erwägungen über die Einwirkung von Gemischen und der Versuche, die Pfeffer für diesen Punkt angestellt hat, ist es nicht zulässig, ohne überzeugende experimentelle Begründung, die aber, wie gesagt, einstweilen fehlt, die Identität von Luft als Reizanlaß mit Sauerstoff als Reizanlaß anzunehmen. Dabei tragen die Erscheinungen der Lufteinwirkung einen spezifisch biologischen Charakter, der nicht ohne weiteres erlaubt, sie mit den Erscheinungen der Einwirkung einzelner Gase zusammenzufassen und zusammen zu bearbeiten.

Die Benennung „Aerotropismus“ könnte einstweilen für die noch wenig untersuchte, einen biologischen Charakter tragende Fähigkeit der Pflanzen beibehalten werden, auf einseitigen Luftmangel oder einseitige Luftzufuhr in ihrer Umgebung zu antworten. Für die Fähigkeit der Pflanzen, auf die ungleichmäßige Verteilung dieses oder jenes einzelnen Gases in ihrer Umgebung zu reagieren, schlage ich die Bezeichnung „Aeroïdotropismus“ vor [2]).

---

1) Pfeffer l. c., 1904, S. 362.

1) Aeroïdotropismus ist von dem griechischen Worte *ἀεροειδής*, d. h. luftartig abgeleitet; dabei ist zuerst das Substantivum „Aeroïd“ nach dem in den

Das, was hier über Aerotropismus und Aeroïdotropismus gesagt wurde, ist auch für Aerotaxis und Aeroïdotaxis gültig, auf die hier nicht eingegangen werden soll. Es sei nur bemerkt, daß möglicherweise die Widersprüche, die neuerdings bei der Ermittlung der Sauerstoffausscheidung durch etiolierte Pflanzen, nach Engelmanns Methode und nach der Leuchtbakterienmethode von Molisch und Beyerinck entstanden sind [1]), ihre Erklärung finden könnten, wenn näher untersucht würde, ob alle die Bakterien, die gewöhnlich zu den Luftblasen hinströmen, nur durch Sauerstoff und nicht durch irgendwelche andere Luftbestandteile, z. B. durch Kohlensäure, angelockt werden können.

Der Aerotropismus wie auch der Aeroïdotropismus müssen als Teile des Chemotropismus anerkannt werden, wenn wir Chemotropismus im Sinne Pfeffers gebrauchen, d. h. als Bezeichnung für alle Reizerscheinungen, welche „durch die Qualität eines Stoffes“ bedingt sind [2]).

Ob diese Erscheinungen eine selbständige Perzeptionsfähigkeit voraussetzen, läßt sich einstweilen noch nicht sicherstellen. Pfeffer nimmt als wahrscheinlich an, daß eine Differenz im Akte der Perzeption oder in der Gesamtheit der sich an die Auslösung anschließenden Prozesse „zwischen der Reizung durch Sauerstoff und durch andere chemische Stoffe“ besteht [3]). Auch an einer anderen Stelle sagt er: „Jedenfalls ist es unwahrscheinlich, daß der Aus-

---

Naturwissenschaften üblichen Verfahren (so Sphäroïd, Globoïd, Krystalloïd, Colloïd usw.) gebildet.

Die Zusammensetzung „Gasotropismus“ ist zu vermeiden; das Wort „Gas“ ist späteren Ursprungs, es ist bekanntlich von Joh. Bapt van Helmont (1577—1644) eingeführt worden und eignet sich nicht dazu, mit dem Worte griechischen Ursprungs „Tropismus“ verbunden zu werden.

1) S. Jost, L., „Vorlesungen über Pflanzenphysiologie“, 2. Aufl., 1908, S. 120 Anm. Auch Ewart, A. J., „On Dissimilatory Inhibition in Plants“. The Journal of the Linnean Society, Vol. XXXI, London 1895—97.

2) Pfeffer l. c., 1904, S. 465.

3) Ders. l. c., 1888, S. 661.

lösungsprozeß durch einseitigen Angriff von Sauerstoff mit anderen chemotaktischen Reizen gänzlich übereinstimmt“ [1]).

Auch Jost schließt sich der Ansicht an, daß Aerotaxis und Chemotaxis „als ganz verschiedene Reizbarkeiten“ betrachtet werden müssen. Die Wahrscheinlichkeit des Unterschiedes zwischen Aerotaxis und Chemotaxis im engeren Sinne scheint für Aero-, Aeroïdotropismus und Chemotropismus im engeren Sinne um so mehr vorzuliegen, als die aeroïdotropische Empfindlichkeit, wie aus meinen Untersuchungen hervorgeht, nicht nur den Wurzeln, sondern auch den Sprossen höherer Pflanzen eigen ist. In dem letztgenannten Falle geschieht aber die Einwirkung nicht durch Gase in Lösungen, sondern ausschließlich in einem gasförmigen Medium, so daß die Perzeption unter ganz besonderen physikalischen und chemischen Bedingungen zustande kommt.

Ob der Chemotropismus im weiteren Sinne des Wortes, also auch der Aero- und Aeroïdotropismus, als identisch mit dem Galvanotropismus angesehen werden können, wie es neuerdings Schellenberg behauptet hat [3]), oder ob die entgegengesetzte Meinung richtig ist, die z. B. von Ewart und Bayliss scharf vertreten wird [4]), das kann eigentlich nicht von den galvanotropischen Erscheinungen, oder von den chemotropischen aus entschieden, sondern muß von dem Standpunkte der neuesten physikalischen Theorien aus behandelt werden, welche allgemeinere Richtlinien für die Verhältnisse zwischen den elektrischen und chemischen Erscheinungen abgeben.

Allerdings aber besteht, auch wenn man das Bild elektrischer Beziehungen für alle Erscheinungen annimmt, kein Hinderungsgrund für den Naturforscher, soweit er zu den Erscheinungen durch un-

---

1) Pfeffer l. c., 1888, S. 649.

2) Jost l. c., 1908, S. 651.

3) Schellenberg, H. C., „Untersuchungen über den Einfluß der Salze auf die Wachstumsrichtung der Wurzeln, zunächst an der Erbsenwurzel“. Flora 1906, Bd. XCVI.

4) Ewart, A. J. und Bayliss, J. S., „Über die Natur der galvanotropischen Reizbarkeit der Wurzeln“. Proceed. of the Royal Soc., Ser. B., Vol., LXXVII, 1905.

mittelbare Sinneswahrnehmung in Beziehung tritt, diese Erscheinungen möglichst weit zu differenzieren und methodisch verschiedenartig zu bearbeiten.

Zweites Kapitel.

Aeromorphosen.

Ehe ich zu den von mir experimentell behandelten Gebieten des Aerotropismus und Aeroïdotropismus übergehe, müssen einige Erscheinungen der vermutlichen Aeromorphosen nach der vorhandenen Literatur einer kurzen Besprechung unterzogen werden.

Diese Besprechung ist 1. durch die Notwendigkeit reinlicher Sonderung des zu untersuchenden Tatsachenmaterials bedingt; es müssen dabei einige Mißverständnisse klargelegt werden, die sich von hier aus auf das Gebiet des Aerotropismus erstrecken und die strenge Fragestellung erschweren; 2. ist diese Besprechung von Wichtigkeit, um an einigen Beispielen der vermutlichen Aeromorphosen zu zeigen, welche großen methodischen Schwierigkeiten die Feststellung oder umgekehrt eine gründliche Widerlegung des behaupteten Anteils der Luft als Reizanlasses in diesen Erscheinungen bietet. Eben diese Schwierigkeiten machen sich in gleicher Weise auch auf dem Gebiete des Aerotropismus geltend, wo Luft als orientierender Reizanlaß untersucht wird.

In dieser Hinsicht kann hauptsächlich das Problem der „Atemwurzeln“ ein Interesse bieten.

Im Jahre 1885 hat Warming in der Botanischen Gesellschaft zu Stockholm über die von ihm beobachteten „senkrecht emporsteigenden“ Wurzeln von *Avicennia* berichtet[1]).

Goebel war der erste, der, anfangs in Ceylon, dann in Buitenzorg

1) Warming, E., „Über die Wurzeln von Avicennia“. Bot. Zentr. XXI, 1885.

auf Java, die Luftwurzeln von *Bruguiera*, *Avicennia*, *Sonneratia* u. a. genauer untersucht und beschrieben hat[1]).

Im Laufe der Zeit wurde die Zahl der Pflanzen, welche Luftwurzeln aufweisen, wie von Goebel selbst, so auch von Jost, Schenck, Karsten u. a. außerordentlich vermehrt.

Goebel hat auch versucht, eine bestimmte Vermutung über die Funktion dieser Organe auszusprechen: die Luftwurzeln von *Sonneratia* und *Avicennia* schienen ihm Organe darzustellen, welche den in sauerstoffarmem Schlamme kriechenden Wurzeln die Möglichkeit geben, „mit der Atmosphäre in Kontakt zu treten“[2]). Dieser ihrer Funktion nach hat er sie als Atmungsorgane oder „Atmungswurzeln“ bezeichnet.

Jost hat an Luftwurzeln von *Livistonia* und *Phoenix dactilifera* (im Anschluß an die „Pneumathoden“-Frage), und hauptsächlich Karsten an Luftwurzeln von *Bruguiera* versucht, diese Ansicht experimentell zu bestätigen[3]). Karsten hat durch Filtration der ausgeschiedenen CO_2 die Arbeitsleistung für die Atmungswurzeln bestimmt und sie als eine „überaus große“ konstatiert[4]). Ob auch diese Funktion für alle als „Atmungswurzeln“ bezeichnete Wurzeln dieselbe ist, ist noch nicht entschieden.

Die Frage nach der Funktion muß aber bei der Untersuchung des Ursprungs der erwähnten Organe ganz aus dem Spiel gelassen werden.

---

1) Goebel, K., „Über die Luftwurzeln von Sonneratia“. Ber. d. Deutsch. bot. Ges. 1886 [1].

2) Ders., „Über die Rhizophorenvegetation“. Sitzber. der Naturforsch. Ges. zu Rostock. Archiv des Vereins der Freunde der Naturgeschichte in Mecklenburg, 40. Jahrg., 1886 [2].

3) Jost, „Ein Beitrag zur Kenntnis der Atmungsorgane der Pflanzen“. Bot. Zeit. 1887, S. 604.

Dagegen: Wieler, A., „Die Funktion der Pneumathoden und des Aerenchyms“. Jahrb. für wiss. Bot. 1898, S. 513—514.

Karsten, G., „Über die Mangrove-Vegetation im Malayischen Archipel“. Eine morphologisch-biologische Studie. Bibliotheca Botanica 1891, S. 41 ff.

4) Karsten l. c., 1891, S. 45.

Wenn man von den anatomischen und anderen Verschiedenheiten der Luftwurzeln verschiedener Pflanzen absieht, findet man an ihnen eine Eigenschaft, die allen gemeinsam erscheint und vielleicht den einzigen Grund gegeben hat, sie alle, auch bei ganz verschiedenen Pflanzenarten und wenn sie unter verschiedenen Bedingungen entstanden waren, als etwas gleichartiges zusammenzufassen. An allen „Atmungswurzeln" beobachtet man nämlich, daß sie, wenn nicht gerade aufwärts, so jedenfalls nicht nach unten, sondern nach oben ihr Wachstum richten.

Jost hat großes Gewicht auf diese Erscheinung gelegt und danach alle von ihm untersuchten Wurzeln als „positiv aerotropische" bezeichnet: die quantitativen Luftdifferenzen in der umgebenden Atmosphäre und im Boden sollten die Wurzeln veranlassen, der Luft entgegen zu wachsen.

Er glaubte diese Vermutung auf alle Atmungswurzeln, auch auf die Atmungswurzeln von *Avicennia* und *Sonneratia*, ausdehnen zu dürfen. In diesem Falle hätte man im Problem der Atmungswurzeln mit dem Problem des Aerotropismus zu tun.

In dieser Vermutung Josts war aber ein ganzer Knäuel von Fragen eingeschlossen. Wenn man alle Luft- resp. Atmungswurzeln als positiv aerotropische bezeichnet, so muß man dabei zwei Möglichkeiten voraussetzen. Entweder muß man annehmen, daß sie alle normale Wurzeln sind und nur ihre Richtung unter dem Einflusse der Luftdifferenzen in ihrer Umgebung verändert haben; in diesem Falle würde die ganze Frage in das Gebiet des Aerotropismus gehören. Oder man muß, falls sie keine gewöhnlichen Wurzeln, sondern Neubildungen sind, annehmen, daß die aerotropische Empfindlichkeit ihnen nur als eine der physiologischen Eigenschaften zukommt; in diesem Falle sollte die Frage des Aerotropismus neben der Frage des morphogenen Reizanlasses eigentlich als eine Nebenfrage in dem Problem der Atmungswurzeln behandelt werden. Wenn man die Vermutung Josts nicht auf alle „Atmungswurzeln", und jedenfalls nicht auf die von Mangrovepflanzen ausdehnt, so wird die erste Möglichkeit eine große Wahrscheinlichkeit für sich haben, daß man

nämlich in einigen Fällen mit normalen Wurzeln zu tun hat, deren Richtung durch Aerotropismus umgeändert ist.

Jost schreibt: „An fast allen im Herbst dieses Jahres in die Bassins des Warmhauses gestellten Landpflanzen traten nach kurzer Zeit auf der Oberseite des Topfes viele Wurzeln hervor, welche sich immer an der Wasseroberfläche hielten“[1]).

Es ist möglich, daß einige von diesen Pflanzen keine Neubildungen, sondern nur Richtungsveränderungen ihrer normalen Wurzeln dabei aufwiesen und es ist nicht ausgeschlossen, daß dabei Luft oder einer ihrer Bestandteile als Orientierungsreiz wirken konnte. Die Grenzen der Möglichkeit, in diesen Fällen Luft als Orientierungsreizanlaß zu vermuten, werden im nächsten Kapitel (Über Aerotropismus) näher besprochen werden.

Was aber die Atmungswurzeln von typischen Mangrovepflanzen betrifft, so haben wir hier aller Wahrscheinlichkeit nach mit Neubildungen zu tun, deren morphologische Eigentümlichkeiten so bedeutend sind, daß man sie in der Literatur manchmal als „stengelähnliche“ oder sogar als Organe „sui generis“[2]) bezeichnet findet. Jedenfalls sind das vieljährige Gebilde mit ganz selbständiger Entwicklung. So sagt Goebel, daß Atmungswurzeln von *Sonneratia* und *Avicennia* jahrelang wachsen[3]); auch nach Karsten bezeugen sie ein „oft beträchtliches Alter“[4]). Und ihnen entsprechend sind die Atmungswurzeln vieler anderer Mangrovepflanzen, so *Bruguiera*-Arten, *Carapa moluccensis*, *Lumnitzera* vieljährige Gebilde[5])

Für solche eigenartigen Gebilde könnte nur die zweite Möglichkeit in Betracht kommen, daß bei ihnen die aerotropische Empfindlichkeit nur als eine ihrer physiologischen Eigenschaften gefunden wird. Sie würde dann nur ein nebensächliches Interesse für das Problem der Atmungswurzeln besitzen. Jedenfalls wird diese Emp-

1) Jost l. c., 1887, S. 640.
2) Karsten l. c., 1891, S. 42.
3) Goebel, K., „Pflanzenbiologische Schilderungen“. T. I, 1889, S. 139 f.
4) Karsten l. c., 1891, S. 41; Taf. X Fig. 139 u. 140.
5) Ders. l. c., 1891, S. 41.

findlichkeit, wie aus dem folgenden deutlich werden wird, keinen Anspruch auf eine große Rolle in der ganzen Lebensweise der Atmungswurzeln erheben können.

Karsten hat nämlich an Sonneratia-Wurzeln gezeigt, daß besonders junge Exemplare, ebenso wie noch wachsende ältere, aus ihrer aufwärts gerichteten Lage gebracht, auch wenn keine Luftdifferenzen in ihrer Umgebung vorhanden sind — wenn sie sich z. B. ganz in der Luft befinden — immer in scharfem Bogen sich wieder aufrichten. Diese Erscheinung erklärt Karsten durch die Annahme, daß die Richtung der Atmungswurzeln durch den negativen Geotropismus bedingt sei[1]).

Goebel hat von vornherein die Atmungswurzeln, so weit ihre Richtung, nicht ihr Ursprung in Betracht kam, als „negativ geotropische" bezeichnet.

Wieler hat allerdings in dieser Beziehung andere Vermutungen ausgesprochen; er meinte, daß ihre Richtung durch negativen Chemotropismus gegen irgend welche Stoffe, die in durchnäßtem Boden sich entwickeln, bedingt sein könnte, oder daß diese Wurzeln als an sich richtungslose Gebilde nach allen Richtungen wachsen, soweit die nötige Feuchtigkeit vorhanden ist[2]).

Die Vermutungen von Wieler über den negativen Chemotropismus könnten wohl, ebenso wie die von Jost über den positiven Aerotropismus, in einigen Fällen zutreffen. Nur zu den eigentümlichen Luftwurzeln der Mangrovepflanzen scheinen sie in keiner Beziehung zu stehen.

Im Jahre 1905 hat Seliber an dem Beispiele von *Jussieua*-Arten die Vermutungen von Wieler zu widerlegen gesucht und wieder den negativen Geotropismus als den dominierenden Orientierungsreiz für die Atmungswurzeln von *Jussieua* experimentell festgestellt[3]). Allerdings, und ganz richtig, hat er die aerotropische

1) Karsten l. c., 1891, S. 49.

2) Wieler l. c., 1898, S. 506.

3) Seliber, G., „Variationen von *Jussieua repens* mit besonderer Berücksichtigung des bei der Wasserform vorkommenden Aerenchyms". Abh. d. Kais. Leop. Karol. D. Akad. d. Naturf., Bd. LXXXIV, 1905.

Empfindlichkeit als solche den Atmungswurzeln im allgemeinen nicht abgesprochen. „Es ist nicht ausgeschlossen", sagt er, „daß die Wurzeln auch aerotropischer Bewegungen fähig sind; diese kommen aber nicht besonders zum Ausdruck, wenn die Wurzeln in ihrer Wachstumsrichtung dem negativen Geotropismus folgen"[1]).

Aus dem gesagten ergibt sich, daß aerotropische und aeromorphotische Probleme streng auseinander zu halten sind. Wenn sie bis jetzt in der Frage der Atmungswurzeln manchmal etwas durcheinander liefen, so läßt sich dies daraus erklären, daß die beiden Arten von Erscheinungen einen gemeinsamen spezifischen Zug besitzen: in eben der Weise wie für die aeromorphosen, ist auch für die aerotropischen Vorgänge die Frage über Luft- „resp. Sauerstoff"[2])-Einwirkung zu lösen. Gerade weil die Luft ihrem Bestande nach nicht etwas Bestimmtes ist und dabei als notwendige Voraussetzung des Lebens erscheint, tragen die Untersuchungen und die Erscheinungen der vermutlichen Aeromorphosen und Aerotropismen einen allgemeinen „biologischen" Charakter, wo die Versuchsbedingungen größtenteils quantitativ wie qualitativ unbestimmt bleiben, wo keine richtigen Kontrolversuche möglich sind, und dadurch Vieldeutigkeit der Tatsachen und Unsicherheit der Schlüsse unvermeidlich wird. Wie groß die methodischen Schwierigkeiten sind, welche die Untersuchung der Luft als Reizanlaß bietet, läßt sich an demselben und an anderen Beispielen zeigen.

Wie weit z. B. läßt sich die Voraussetzung vieler Autoren, daß die Luft für die Entstehung der „Atmungswurzeln" ein morphogener Reizanlaß sei, als erwiesen betrachten? Die Vermutung, daß Atmungswurzeln als Folge der anomalen Luftverhältnisse, also als Aeromorphosen, entstanden seien, finden wir wieder zuerst bei Goebel[3]).

---

1) Seliber, G. l. c., 1905, S. 190.

2) Wie man mit Unrecht sagt.

3) Goebel l. c., 1886.

Ders., „Bemerkung zu der Abhandlung von Jost: ‚Ein Beitrag zur Kenntnis der Atmungsorgane der Pflanzen'", Bot. Ztg. 1887.

Goebel nimmt an, daß es sich hier um Wachstumsvorgänge handeln könnte, die durch mangelhafte Luft- resp. Sauerstoffversorgung veranlaßt sind. Eine Bestätigung dafür glaubte er aus der Tatsache schöpfen zu dürfen, daß er bei den zu tief angepflanzten Wurzeln von *Rumex Hydrolapathum, Nymphaea* u. a. im Wasser auch die Bildung von Luftwurzeln beobachten konnte; ebenso wurden solche Wurzeln bei *Saccharum* hervorgerufen, wenn man die Pflanzen in Töpfen sehr feucht hielt[1]), wenn man also irgendwie den freien Luftzutritt zu den Wurzeln verhinderte.

Ähnliche Tatsachen der Neubildung oder Vermehrung der Luftwurzeln bei übermäßiger Bewässerung haben auch andere Autoren, so Jost[2]) und Karsten[3]), konstatieren können.

Diese Tatsachen sind jedoch durchweg sehr vieldeutig, da bei Durchnässung des Bodens nicht nur Sauerstoff oder überhaupt Luftverhältnisse, sondern auch viele andere Bedingungen verändert sind und außerdem ganz neue unvermeidlich eingeführt werden müssen.

Im Jahre 1889 hat sich Schenck der Meinung Goebels angeschlossen, in dem Sinne, daß er gleichfalls anomale Luftverhältnisse als Anlaß zur Bildung von Atmungswurzeln ansehen wollte. Er drückte aber seine Meinung in etwas unerwarteter Weise aus: die Flut schwemme die Erde von den Wurzeln der Mangrovepflanzen weg; dabei würden einige Wurzeln der direkten Lufteinwirkung bloßgelegt. „Es ist möglich, daß aus solchen zufällig bloßgelegten Wurzeln die aerotropischen[4]) allmählich als fixierte erbliche Gebilde hervorgegangen sind“[5]).

---

1) Goebel l. c., 1886 [2], S. XXV.

2) Jost l. c., 1887.

3) Karsten l. c., 1891, S. 53, 54.

4) Das Wort „aerotropische“ scheint Schenck nur als Bezeichnung der Atmungswurzeln zu gebrauchen, sonst wäre dieser Satz kaum zu verstehen.

5) Schenck, H., „Über die Luftwurzeln von *Avicennia tomentosa* und *Laguncularia racemosa*“. Flora 1889, S. 87. (*Laguncularia* gehört nach C. Warming jedoch nicht zu der eigentlichen Mangrove-Vegetation, s. „Lehrbuch der ökologischen Pflanzengeographie“ 1896, S. 301.)

In diesem Satze scheint der Gedanke ausgedrückt zu sein, daß einige durch Flut bloßgelegte Wurzeln durch direkte Lufteinwirkung so umgebildet werden können, daß sie weiter als eigenartige Gebilde existieren und sogar ihre neuen Eigenschaften irgendwie (?) auf die Nachkommenschaft übertragen können. Hier ist also von einer „erblichen Aeromorphose" die Rede. Man braucht dem Gedanken der Vererbung erworbener Eigenschaften nicht irgend wie parteiisch gestimmt gegenüber zu stehen, um für eine solche Vermutung von verschiedenen Standpunkten aus eine Begründung zu verlangen.

Man könnte vielleicht folgende Angabe von Weingart als eine Bestätigung für die Vermutung Goebels betrachten, daß die anomalen Luftverhältnisse einen morphogenen Reizanlaß für die Entstehung der Atmungswurzeln abgeben. Weingart hat bei einigen Pflanzen (*Rhipsalis saglionis, Cereus Maynardii, Cereus triangularis*) in zu trockener fester Erde Luftwurzeln erhalten, die schräg aufwärts in die Luft wuchsen[1]). In diesen Fällen scheint in der Tat bei demselben Erfolg — nämlich der Bildung von Luftwurzeln — nur eine einzige Bedingung mit den von Goebel, Jost und Karsten bei durchnäßten Böden beobachteten Erscheinungen gemeinsam zu sein — nämlich die Luftarmut des Bodens.

Weingart will gerade in dieser Bedingung, daß „die Erde offenbar nicht genügend Luft zu den Wurzeln zuließ", den Anlaß zur Bildung der Luftwurzeln finden. Der diese Mitteilung berichtende Autor K. Schumann stimmt mit der Meinung von Weingart vollständig überein. Er zieht sogar selbst die Parallele zwischen den entstandenen Luftwurzeln und den negativ-geotropischen Luftwurzeln der Mangrovepflanzen.

Die Tatsachen bleiben aber immer noch vieldeutig. In diesem Falle könnten ganz andere Anlässe zu demselben Erfolge geführt haben.

Ohne schon davon zu sprechen, daß die Beweise und Gegen-

1) Weingart, Mitgeteilt von K. Sch[umann]. „Negativ geotrope Wurzeln", Monatsschr. für Kakteenkunde, Bd. XIII, 1903.

beweise den Beobachtungen an verschiedenen Pflanzen entnommen waren, sind die beobachteten biologischen Erscheinungen an sich zu kompliziert, um irgend einen festen Grund für die Möglichkeit der Einwirkung der Luft oder des Sauerstoffes als morphogener Reizanläße in den erwähnten Fällen abzugeben.

So ist andererseits die Möglichkeit von morphogenen Einwirkungen der anomalen Luftverhältnisse auch nirgends vollständig widerlegt, wie sich an einem anderen Beispiele, dem der „Aerenchym"-Bildung, deutlich zeigen läßt.

Schenck war der erste, der das Aerenchym geschildert und als Aerenchym bezeichnet hat. Er war geneigt, den Reiz, welcher die Bildung des Aerenchyms veranlaßt, in dem verminderten Sauerstoffgehalte in der Umgebung des Wurzelsystems der Aerenchym bildenden Pflanzen zu suchen [1]). Seliber meinte diese Vermutung vollständig widerlegt zu haben [2]). Nach Seliber ist die Annahme Schencks, „daß der Sauerstoffmangel der inneren Gewebe das Plasma der Phellogenzellen zu Aerenchymerzeugung veranlaßt", unwahrscheinlich, weil an völlig untergetauchten Pflanzen die Aerenchymbildung oder Aerenchymregeneration unterbleibt; endgültig meint er sogar die Möglichkeit der Lufteinwirkung dadurch widerlegt zu haben, daß er einen Fall von Aerenchymbildung an den Wurzeln auf feuchtem Papier, d. h. vollständig in der Luft, beobachtet hat. Diese beiden Einwände zeigen aber nur besonders deutlich, wie sehr schwer es ist, die benutzten Methoden dem Wesen der aufgeworfenen Frage vollkommen anzupassen.

So hat Seliber für den letzterwähnten Versuch eine „Aerenchymwurzel" gebraucht, d. h. eine Wurzel, welche schon einmal das Aerenchym gebildet, dann aber „nach Untertauchen der ganzen Pflanze" ihren Aerenchym eingebüßt hatte. Wieder aus dem Wasser herausgenommen „bildete sie auf feuchtem Filtrierpapier an der

1) Schenck, H., „Über das Aerenchym, ein dem Kork homologes Gewebe der Sumpfpflanzen". Jahrb. f. wissenschaftl. Botanik, Bd. 20, 1889; s. auch Wieler l. c., 1898, S. 506, 523.

2) Seliber l. c., 1905.

Luft an ihrer Spitze Aerenchymgewebe“ [1]), d. h. es war bei Luftmangel im Wasser das Aerenchym rückgebildet, und wenn dieser Luftmangel beseitigt wurde, wieder entstanden. Dies scheint Seliber die Beteiligung des Luftmangels an der Aerenchymbildung vollständig zu beseitigen.

Es könnte aber sein, daß das Aerenchym gerade als Nachwirkung des Luftmangels auftrat, dem die Pflanze im Wasser ausausgesetzt worden war. Im Wasser konnte die Bildung des Aerenchyms durch anomale Verhältnisse gehemmt worden sein. Sagt doch Seliber selbst, daß beim Untertauchen der ganzen Pflanze eine „herabgesetzte Ernährung“ in Betracht komme [2]).

Dabei ist außerdem zu bemerken, daß bei morphogenen Reizen durch einfache Entfernung des Reizanlasses zu beliebiger Zeit die Reaktion nicht so unmittelbar beeinflußt, zum Ausgleich gebracht oder sogar verhindert werden kann, wie es bei den tropistischen Reizerscheinungen geschieht. — Wenn die Anlagen zu der betreffenden Neubildung schon einmal veranlaßt wurden, so sind dadurch auch die Bedingungen zu der Entwicklung dieser Neubildung gewissermaßen unabhängig von einer weiteren Dauer der Reizeinwirkung gegeben; die Entfernung des Reizanlasses kann dann einflußlos bleiben, ohne daß er deshalb als Reizanlaß verneint werden dürfte.

Bei morphogenen Reizerscheinungen muß die anatomische Untersuchung in besonders innige Beziehung zu der physiologischen treten.

Das ist aber hier noch nicht die Hauptsache. Selbst wenn die anatomischen Untersuchungen das Nichtausgelöstsein einer Aerenchymbildung unter Wasser, auch in seinen Anlagen, bestätigen könnten, wäre es doch unmöglich, in diesen Fällen einen endgültigen Schluß zu ziehen. Das Wesen der Schwierigkeit liegt darin, daß der Luftmangel als Reizanlaß in eine zu nahe Berührung mit dem Luftmangel als Hemmung jeder Lebenstätigkeit kommt. Wenn es auch in den Versuchen von Seliber zweifellos wäre, daß bei künstlicher Luftentziehung jede Bildung des Aerenchyms unterbleibt, so

1) Seliber l. c., 1905, S. 192, 194.

2) Ders. l. c. 1905, S. 192.

wäre der Schluß, daß der Luftmangel kein morphogener Reizanlaß für die Aerenchymbildung sei, ebensosehr oder ebensowenig berechtigt wie der Schluß, daß durch zu weit getriebenen Luftmangel jede Möglichkeit der Reaktionsäußerung vollständig unterdrückt worden sei.

Allerdings kann man sich vorstellen, daß eine besonders durchdachte Methodik alle diese Einwände berücksichtigen und beseitigen könnte. Jedenfalls werden aber für sie die größten Schwierigkeiten bestehen. Ebenso unerwiesen und andererseits unwiderlegt ist der Anteil der Luft im Problem der „Pneumathoden“[1]).

Das schon Gesagte soll jedoch für den Zweck dieser Besprechung genügen. Es ist nach dem bisher Besprochenen erstens klar, daß die aerotropischen Probleme, wie dem Material, so auch der Versuchsanordnung nach, von den aeromorphotischen getrennt gehalten werden müssen. Es folgt zweitens, daß gerade die Aufstellung oder Widerlegung von Hypothesen über die Luft als Reizanlaß infolge des biologischen Charakters der Erscheinungen und der Versuchsbedingungen, wo er als solcher wirken könnte, wie bei den aeromorphotischen, so auch bei den aerotropischen Problemen besondere Schwierigkeiten bietet.

Das nächstfolgende Kapitel wird zeigen, daß bei der Untersuchung der aerotropischen Reizerscheinungen, soweit bei ihnen auch Luft als Reizanlaß vermutet wird und geprüft werden kann, die Schwierigkeiten und die Vieldeutigkeit der Resultate keine geringeren sind und einstweilen noch keine definitive Entscheidung der Frage erlauben.

Das macht vielleicht die physiologische Untersuchung der Einwirkung einzelner Bestandteile der Luft auf die Pflanzen, auch von dieser Seite, d. h. für die spätere Aufstellung der Besonderheiten der Lufteinwirkung im ganzen, besonders wünschenswert.

1) Jost l. c., 1887; Wieler l. c., 1898.

Drittes Kapitel.

Über Aerotropismus.

Es wurde schon hervorgehoben, daß die Vermutung Josts über den positiven Aerotropismus der „Luftwurzeln", soweit man sie nicht auf alle „Atemwurzeln" verallgemeinert, sondern auf die, welche keine Neubildungen sind, beschränkt, durchaus wahrscheinlich ist. Diese Wahrscheinlichkeit ist nach folgenden Versuchen begründet, die sich zum Teil in der Literatur finden, zum Teil von mir als Vorversuche für die aeroïdotropischen Untersuchungen ausgeführt worden sind.

In der Literatur findet man einige vereinzelte Andeutungen über den Aerotropismus bei Pilzen und Pollenschläuchen. So scheint z. B. in den Untersuchungen von Celakovsky[1]) die ungleiche Luftverteilung in der Umgebung von *Dictyuchus monosporus* zu gleicher Zeit als morphogener und als orientierender Reizanlaß zu wirken: das erste, indem sie auf die Gestaltung der Kultur umändernd wirkt; das zweite, indem sie die Richtung der neugebildeten Fäden bestimmt. Dies gibt dem Verfasser den Grund, die beobachteten Erscheinungen als „positiven Aerotropismus" zu bezeichnen.

Molisch[2]) und Miyoshi[3]) geben Beispiele von Pollenschläuchen, die nach dem Ausdrucke von Molisch „die atmosphärische Luft fliehen", sich also als „negativ aerotropische" erweisen.

Außer den erwähnten Vermutungen über Aerotropismus besitzen wir noch einige speziellere Untersuchungen, die den Aerotropismus als eine verbreitete Eigenschaft bei den höheren Pflanzen, nämlich

---

1) Celakovski, L. ml., „O aërotropismu houby Dictyuchus monosporus", Sitzber. der Königl. Böhm. Ges. der Wiss. M. Naturw. Kl. 1897. — Ref. in Beih. des Bot. Zentralbl. 1898—1899.

2) Molisch, H., „Zur Physiologie des Pollens, mit besonderer Rücksicht auf die chemotropischen Bewegungen der Pollenschläuche". Sitzber. der Kais. Akad. d. Wiss. zu Wien. M. Naturw. Kl., Bd. CII, Abt. I, 1893.

3) Miyoshi, M., „Über Reizbewegungen der Pollenschläuche." Flora 1894.

bei den Wurzeln, festzustellen suchen. So die von Molisch[1]) und Ewart[2]). Molisch hat seine Versuche mit Keimlingen gewöhnlicher Versuchspflanzen ausgeführt, hauptsächlich von *Zea Mais* und *Pisum*. Er hat Krümmungen beobachtet, welche die Wurzeln aus dem Wasser, in dem sie sich befanden, zu dessen Oberfläche hervorhoben.

Eigentlich hat Molisch zwei verschiedenartige Erscheinungen beobachtet: 1. ganz unregelmäßige, nach den verschiedensten Richtungen orientierte, halbkreis-, schleifen-, schrauben- und knieförmige Krümmungen; 2. das Emporheben der Wurzelspitzen zu der Wasseroberfläche, also aufwärts, und weiteres Wachsen entweder an der Grenze zwischen Luft und Wasser, oder sogar eine Zeit lang schief in die feuchte Luft hinein.

Molisch selbst hat diese zwei Erscheinungen von einander getrennt. Die ersten, die er als „unregelmäßige Nutationen" auffaßte, versuchte er auf die abnormen Einflüsse der Kultur im Wasser zurückzuführen. Die zweiten führten ihn zu dem Gedanken, daß „der hohe Sauerstoffgehalt der obersten Wasserschichten und der angrenzenden Atmosphäre" die Wurzeln in ihren Aufwärtskrümmungen und in dem „horizontalen Verlauf" des Wachstums an der Grenze zwischen Luft und Wasser bestimmen könnte. „Wäre diese Vermutung richtig" — schreibt er —, „dann müßte die Wurzel für Sauerstoffdifferenzen empfindlich sein"[3]).

Was die erste Erscheinung betrifft, so scheint die Vermutung Molischs sehr wahrscheinlich. Er hat dieselben unregelmäßigen Krümmungen unter anderen abnormen Verhältnissen, z. B. bei Verunreinigung der Luft mit Leuchtgas beobachtet. Und wie scharf die minimalsten schädlichen Zusätze in der umgebenden Atmosphäre in den Wachstumsverlauf und überhaupt in die Lebenserscheinungen eingreifen können, haben die neueren Arbeiten in dieser Hinsicht

1) Molisch l. c., 1884.

2) Ewart, A. J., „Observations on the Vitality and Germination of Seeds". Trans. of the Liverpool Biol. Soc., Vol. VIII, 1893—94.

3) Molisch l. c., 1884, S. 7.

mit Deutlichkeit gezeigt. D. Neljubow war der erste, der die Aufmerksamkeit der Physiologen auf den abnormen Einfluß der Laboratoriumsluft hingelenkt hat[1]). Weitere Literatur und wichtige Ergebnisse in dieser Beziehung sind bei O. Richter zu finden[2]). Im letzten Winter habe ich ausgesprochene schraubenförmige Krümmungen gerade unter den Kotyledonen an allen (bis 100 Exemplare) *Helianthus*-Keimlingen beobachtet, die in einer Laboratoriumsluft kultiviert waren, in der ein leichter Geruch von Leuchtgas wahrzunehmen war. Von allen in einer Luftkammer, durch die Straßenluft hindurchgeführt worden war, gewachsenen Exemplaren, hat keines etwas ähnliches gezeigt. Und noch mehr: die gewundenen Exemplare glichen nach der Überführung in die Luftkammer, so weit sie noch wuchsen, ihre Schrauben teilweise oder sogar vollständig aus, während umgekehrt die Keimlinge aus der Luftkammer in der Laboratoriumsluft schon nach kurzer Zeit charakteristische Schraubenkrümmungen ausführten.

Man könnte diese Erscheinungen mit Wächter[3]) als chemonastische Erscheinungen zusammenfassen. Aber gerade das Vorkommen solcher chemonastischen Erscheinungen in den Wasserkulturen von Molisch erlaubt es nicht, seine Erklärung der zweiten Gruppe der von ihm beobachteten Erscheinungen als aerotropischer ohne Bedenken anzunehmen. Wenn einmal in dem von ihm gebrauchten Wasser, also bei seinen Versuchsbedingungen, chemonastische Erscheinungen möglich waren, liegt immer die Vermutung nahe, daß das Emporwachsen der Wurzeln auf den negativen Chemotropismus, und nicht auf den positiven Aerotropismus zurückzuführen

1) Neljubow, D. N., „Über die horizontale Nutation der Stengel von Pisum sativum und einiger anderen Pflanzen". Bot. Zentralbl. Beihefte. Bd. X. 1901.

2) Richter, O., „Über den Einfluß verunreinigter Luft auf Heliotropismus und Geotropismus". Sitzber. der Kais. Akad. Wien. Mat. Nat. Klasse, Bd. CXV, 1906.

3) Wächter, W., „Chemonastische Bewegungen der Blätter von Callisia repens". Ber. d. D. Bot. Ges., Bd. XXIII, 1905.

ist. Andererseits hat Molisch seine Keimlinge mit Stecknadeln befestigt, so daß auch die Möglichkeit des geotropischen Aufwärtswachsens der Wurzeln[1]) nicht ausgeschlossen blieb.

Für die Entscheidung über die Möglichkeit des Aerotropismus bei den Wurzeln scheinen mir die Angaben Ewarts von viel größerer Bedeutung zu sein[2]), die viel weniger als die von Molisch bekannt sind. Ewart hat seine Versuche mit abgekochtem Wasser angestellt.

Ebenso wie Molisch hat er *Erbsen*-Keimlinge, aber auch *Hanf* und *Weizen* gebraucht. Er hat die Versuchskeimlinge so angeordnet, daß einige von ihnen mit ihren Wurzeln nach unten, andere aber nach oben, alle die Oberfläche berührend, orientiert wurden. Die ersten wuchsen eine Weile nach unten, machten dann eine Krümmung entweder parallel zur Wasseroberfläche oder direkt nach oben („bent laterally, or curved sharply upwards")[3]). Die zweiten wuchsen eine Zeit hindurch, ohne die negativ geotropischen Krümmungen zu zeigen; dann krümmten sie sich nach unten. Sobald sie aber in Berührung mit ausgekochtem Wasser kamen, zeigten sie ein den ersten analoges Verhalten: „when the radicle reached the surface of the water instead of growing down into it, they either bent upwards or grew along over the surface"[4]).

Sobald aber Ewart dasselbe Wasser, jedoch nicht ausgekocht, gebrauchte, wuchsen alle Wurzeln normal in das Wasser hinein: „If similar Peas are germinated over water, which is kept in a well aerated condition, the radicles, whether to commence with they are pointing upwards or downwards, grow downwards into water"[5]).

Das wichtigste aber ist, daß Ewart auch Durchlüftungskontrollversuche ausgeführt hat. Sobald das ausgekochte Wasser

---

1) Noll, F., „Über heterogene Induktion". Leipzig 1892, S. 22.
2) Ewart l. c., 1893—94.
3) Ders. l. c., 1893—94, S. 238.
4) Ders. l. c., 1893—94, S. 238.
5) Ders. l. c., 1893—94, S. 239.

durchlüftet wurde, wurden auch die Abwärts- oder lateralen Krümmungen ausgeglichen und alle Wurzeln wuchsen negativ geotropisch ins Wasser hinein: „If the stagnant oxygenless water over which Peas were germinated was well aerated and kept in an aerated condition the radicles soon bent downwards into it, although it must still have contained large quantities of carbonic acid and an abundance of bacteria“ [1]).

Diese Versuche gaben Ewart den Anlaß, die Wurzeln als „oxytropic“ zu bezeichnen. Solche Durchlüftungsversuche könnten es vielleicht ermöglichen, in den Massenbildungen von Luftwurzeln, die Jost beobachtet hat (s. S. 12), die möglicherweise positiv-aerotropisch gekrümmten Wurzeln von den negativ-geotropischen Neubildungen zu unterscheiden.

Waren die Keimlingswurzeln von vornherein zu tief in das Wasser eingetaucht, so zeigten sie bei Ewart wie auch bei Molisch verlangsamtes Wachsen und keine Aufwärtskrümmungen. Im Falle des Aerotropismus konnte man das auch erwarten, da für die aero- wie auch für die aeroïdotropischen [2]) Erscheinungen die Differenzen in der Verteilung des Reizanlasses in der nächsten Umgebung der Pflanze notwendige Bedingungen sind. Nur wo solche Differenzen vorhanden sind, ist der eigentliche Reizanlaß gegeben: an der Oberfläche des Wassers sind diese Differenzen am ausgesprochensten und können die Wurzeln veranlassen, den negativen Geotropismus durch Aero- oder Aeroïdotropismus zu überwinden; tief im Wasser sind die mangelhaften Luftverhältnisse überall gleichmäßig gegeben; also fehlt die Bedingung für die Reizwirkung.

Ob Cisielskische Krümmungen [3]) (bei *Pisum, Zea, Vicia sativa, Lens esculenta*) auch hierher gehören, ist fraglich, allerdings nicht

---

1) Ewart, l. c. 1893—94. S. 240.

2) Im Falle hier der Sauerstoff allein wirken sollte.

3) Cisielski, Th., „Untersuchungen über die Abwärtskrümmung der Wurzel“. Cohns Beiträge zur Biol. d. Pfl., Bd. I, 1872.

ausgeschlossen; jedenfalls ist seine Erklärung dieser Krümmungen vollkommen unzureichend[1]).

Ich selbst habe einige Versuche mit ausgekochtem Wasser an *Helianthus*-Keimlingen ausgeführt. Das Wasser war nach langem Kochen mittelst eines Siphons in das Versuchsglas eingeführt und in einigen Fällen während des Versuches in derselben Weise erneuert, um die durch Luftdiffusion von oben teilweise verwischten Differenzen aufrecht zu erhalten. Die Keimlinge waren im Kork mit Watte befestigt.

Die Ergebnisse dieser Versuche zeigten, daß auch hier ausgesprochene Aufwärtskrümmungen der Wurzeln, die nicht zu tief in das Wasser eingetaucht waren, erzielt wurden. In demselben, jedoch nicht ausgekochtem Wasser blieben die Aufwärtskrümmungen aus. Es kamen dabei noch einige Eigentümlichkeiten an den gekrümmten Exemplaren zum Vorschein, die ich aber hier nur kurz erwähnen möchte: am Halsteile der Wurzel bildeten sich an einigen Keimlingen eigentümliche Anschwellungen aus; aus diesen Anschwellungen sproßten die Adventivwurzeln hervor, während die Hauptwurzeln sehr bald zugrunde gingen; die Adventivwurzeln wuchsen in der Nähe der Wasseroberfläche oder sogar in die feuchte Luft hinein, ohne sich in das Wasser einzusenken; die Anschwellungen, die ungefähr dreimal so dick als die Stengelteile oberhalb derselben waren, zeigten unter dem Mikroskop eine auffallende Vergrößerung der Interzellularen.

Da ich aber die anatomische Seite der Frage, die außerhalb des Zweckes meiner Arbeit lag, einstweilen nicht berücksichtigen konnte, so mußte ich vorläufig auf eine eingehendere Untersuchung dieser Erscheinungen verzichten. Es sei nur bemerkt, daß in der „Vergleichenden Anatomie der submersen Gewächse" bei Schenck einige Angaben zu finden sind, mit denen die von mir beobachteten Tatsachen etwas Verwandtes zeigen. In dem Abschnitte „Die Wurzel-

---

1) Darüber s. Sachs, J., „Gesammelte Abhandlungen über Pflanzenphysiologie". Bd. II, 1893, S. 981 ff.

struktur der submersen Gewächse“ spricht Schenck über das frühzeitige Absterben der Hauptwurzel, über die Bildung der Adventivwurzeln, über die Reduktion der Wurzelhaare und mit besonderer Betonung über das Bestreben der Pflanzen, in den erwähnten Bedingungen große Interzellularräume zu entwickeln[1]).

Bei den von mir ausgeführten Versuchen mit *Helianthus* läßt sich jedoch, ebenso wie bei den Versuchen von Molisch und Ewart mit Keimlingen im Wasser, ein und derselbe Einwand erheben, daß nämlich Wasserkulturen an sich zu viele Veränderungen in das Pflanzenleben hineinbringen, so daß man auf Grund derartiger Versuche keinen bestimmten Schluß auf die Beziehung des Organismus zu irgend einer dieser Veränderungen mit Sicherheit machen darf[2]).

Von diesem Standpunkte aus scheinen mir die folgenden Versuche, die ich mit den Wurzeln der Landpflanzen in Erde ausgeführt habe, einwandsfreier zu sein.

Die erste Anregung für die Wahl der dazu nötigen Methodik hat mir die folgende, zufällig ausgeführte Beobachtung gegeben. Bei Gelegenheit einer anderen Untersuchung (des Wachstums der Wurzeln im luftfreien Raume) hatte ich verschiedene Keimlinge in Erde in luftdichten, schrägstehenden Zylindern kultiviert, in denen die Luft durch mehrstündige Durchleitung von H, N oder CO_2 verdrängt wurde, wobei die Durchleitung so lange dauerte, bis ich im Dunkeln kein Leuchten eines Phosphorstückes beobachten konnte, das in einem von beiden Seiten offenem Gläschen an der den Wurzeln entgegengesetzten Wand des Zylinders sichtbar war.

---

1) Schenck, H., „Vergleichende Anatomie der submersen Gewächse“. Bibliotheca Botanica 1886, S. 56 ff., 58, 63.

2) Über die Mannigfaltigkeit der Veränderungen, die Wasserkultur in das Leben einer Landpflanze bringt, vergl.:

Perseke, K., „Über die Formveränderung der Wurzel in Erde und Wasser“. Leipzig 1877. Inaug.-Diss.

Von neueren Arbeiten:

Wacker, J., „Die Beeinflussung des Wachstums der Wurzeln durch das umgebende Medium“. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXXII, 1898.

Die Keimlinge wurden mit Watte in den im Kork durchgebohrten Öffnungen so befestigt, daß die obere Hälfte des Sprosses außerhalb des Zylinders in der Luft blieb, die Wurzeln aber im Zylinder in der Erde sich befanden, an der schrägen Wand des Zylinders entlang wachsen konnten und stets an derselben deutlich sichtbar waren.

Die Luftdichtigkeit war mittelst eines Gemisches von Paraffin und Kakaobutter erzielt, wobei die letztere durch ihre leichte Schmelzbarkeit die Bedeckung des Korkes mit einer 3—5 mm dichten Schicht erlaubte, ohne dabei die Pflanzen in ihrer Lebensfähigkeit irgendwie zu beschädigen. Bei Luftdurchleitung wuchsen die Keimlinge unter diesen Bedingungen ungestört weiter.

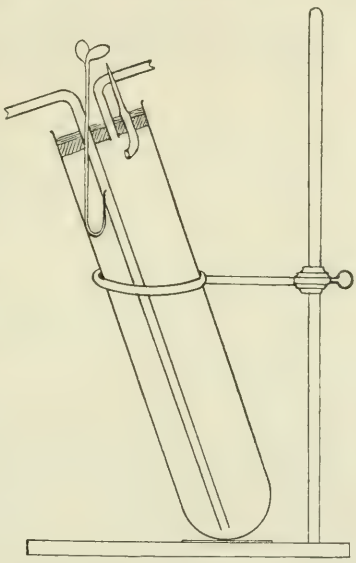


Fig. 1.
Aerotropische Reaktionskrümmung einer *Helianthus*-Wurzel in Erde.

An einem Tage hat ein abweichendes Verhalten der *Helianthus*-Wurzeln in einem der Zylinder meine Aufmerksamkeit auf sich gelenkt. Obwohl Wasserstoff (aus einer Bombe entnommen) schon während 48 Stunden durchgeleitet war, zeigte das Phosphorstück ein schwaches Leuchten, während in den anderen Zylindern längst kein Leuchten mehr bemerkbar war. Die Wurzeln in diesem Zylinder waren nicht mehr an der Wand sichtbar.

Bei genauerer Untersuchung habe ich in der Paraffin-Kakaobutterschicht einen sehr feinen, mit unbewaffnetem Auge nicht sichtbaren Riß gefunden.

Vorsichtig habe ich den Apparat auseinander genommen und die Wurzeln von der Erde befreit. Zwei waren abgestorben, zwei hatten aber ausgesprochene Krümmungen nach oben in der

Richtung des Risses gegeben. Ein Bild des Apparates gibt Fig. 1[1]) Diesen Versuch habe ich dann öfters wiederholt, nur mit dem Unterschiede, daß ich in den Kork außer den Gasleitungsröhren noch ein Glasröhrchen mit zugeschmolzenem Kapillar oben einführte.

Nachdem ein H- oder N-Strom (bei einem CO_2-Strom starben die Wurzeln in kurzer Zeit ab) so lange durchgeleitet worden war, bis der Phosphor kein Leuchten mehr zeigte, wurde das Kapillar oben mit einer scharfen Zange abgebrochen und in dieser Weise Luftdiffusion in die Erde ermöglicht. Die Resultate waren dieselben: die Wurzeln zeigten Aufwärtskrümmungen zu dem diffundierenden Luftstrome. Einige Stunden nach dem Abbrechen des Kapillars fand ich gewöhnlich die Wurzeln an der Wand nicht mehr sichtbar.

Wenn ich aber die Luft weiter diffundieren ließ, kamen die Wurzeln allmählich wieder zum Vorschein; die ausgeführten Krümmungen blieben dabei öfters durch das Verschieben des Wachstums teilweise fixiert, wie ich dies beim Auseinandernehmen des Apparates konstatieren konnte.

Entsprechende Krümmungen wie *Helianthus*-Wurzeln haben auch *Lupinus*-Wurzeln aufgewiesen.

Das Eine aber zeigte sich für den Erfolg der Versuche stets notwendig: der Strom des H oder N durfte auch nach dem Abbrechen des Kapillars nicht abgestellt werden. Wenn ich den Strom bei dem Abbrechen des Kapillars abstellte, konnte ich in keinem einzelnen Falle die Aufwärtskrümmungen beobachten. Es ist möglich, daß sie auch unter diesen Bedingungen zustande kamen; sie waren aber wahrscheinlich zu schwach ausgeführt und schnell ausgeglichen, da die Differenzen der Luftverteilung in diesen Fällen auch bald zum Ausgleich kamen, während sie bei fortgesetzten N- oder H-Strömen viel länger dauern und viel schärfer ausgeprägt werden konnten.

1) Die Pflanze ist schematisiert, die Schärfe der Krümmung aber entspricht vollständig derjenigen, die ich beobachtet habe.

Krümmungen der Wurzeln in Erde hat SAMMET[1]) bei einseitigem Luftzutritt beobachtet. Dabei konnten die Wurzeln nach SAMMETS Angaben sogar den Hydrotropismus überwinden, indem sie dem Luftzutritt entgegen sich aus der feuchten in die trockenere Erde hineinkrümmten[2]). Wie aber dabei die nötigen Luftdifferenzen hergestellt worden waren, ist nicht angegeben[3]).

SAMMET will diese Luftwirkung, wie üblich, mit O-Wirkung identifizieren. Wie gesagt kann aber die Versuchsanordnung kein Recht dazu geben, den eigentlichen Reizanlaß so bestimmt zu präzisieren. Tatsache bleibt nur, daß in den beschriebenen Versuchen die Wurzeln Krümmungen ausführen, welche nach der Stelle hin gerichtet sind, von der aus die Luft durch Diffusion sich verbreitet: vorausgesetzt, daß dabei in der Umgebung der Pflanze Luftdifferenzen geschaffen werden.

Bevor man aber diese Krümmungen aus der Klasse der aerotropischen in die der aeroïdotropischen zu O überführt, müssen noch viele neue Gründe dafür gefunden werden.

Die Versuche mit Wurzeln in Erde haben allerdings auch ihre Nachteile. So ist dabei die ununterbrochene Beobachtung des Reaktionsprozesses ganz unmöglich. Wollte man andererseits Wurzeln in Luft untersuchen, so würde dies wieder zu einer Mannigfaltigkeit von anomalen Verhältnissen führen.

Diese und andere, später zu erwähnende methodische Gründe haben mich veranlaßt, als Objekte für weitere Untersuchungen nicht Wurzeln, sondern Sprosse zu gebrauchen.

Auch an Sprossen habe ich einige Versuche mit Lufteinwirkung ausgeführt. Die Versuchsanordnung war der bei den aeroïdotropischen

1) SAMMET, R., „Untersuchungen über Chemotropismus und verwandte Erscheinungen bei Wurzeln, Sprossen und Pilzfäden. Jahrb. für wiss. Botanik, Bd. XLI, 1905.

2) SAMMET l. c., 1905, S. 36, 37.

3) Was um so notwendiger wäre, als an einer anderen Stelle eine gerade entgegengesetzte Angabe zu finden ist, nämlich: es „wurden in einem Luftstrome, und wenn Luft aus dem Glaszylinder in die Erde diffundierte, keine Wurzelreaktionen beobachtet." (S. 36).

Versuchen gleich und wird später genau angegeben werden. Hier sei nur gesagt, daß ich Luftströme (Gartenluft) unter Überdruck durch ein System von Glasröhren durchgehen ließ. In die Kette der Glasröhren wurde unter der Glocke, unter der die Pflanze sich befand, unmittelbar vor derselben ein gebranntes, aber nicht glasiertes Tonrohrstück eingeschaltet. Indem der Luftstrom unter Überdruck vorbei ging, diffundierte ein Teil davon aus dem Tonrohre und wirkte auf die Pflanze ein.

Um Luftdifferenzen in der Umgebung der Pflanzen zu schaffen, wurde die atmosphärische Luft unter der Glasglocke teilweise durch N oder CO_2 ersetzt.

Einige Versuche haben dabei ganz deutliche Resultate gegeben [1]).

So habe ich einen *Lupinus*-Keimling beobachtet, dessen Epikotyl sich unter den erwähnten Versuchsbedingungen in einem scharfen Bogen nach dem Luftdiffusionsrohre hin krümmte. Nach dem Ausgleichen der Luftdifferenzen kehrte er in seine normale Lage wieder.

Ein anderes Mal hatten sich 3 *Helianthus*-Keimlinge, einer von der einen Seite, zwei von der anderen, zu dem Luftdiffusionsrohre gekrümmt. Nachdem die Zukrümmungen sich völlig ausgesprochen zeigten, habe ich den Versuch umgekehrt, das freie Eindringen der Luft unter die Glocke gestattet und einen CO_2-Strom durch die Röhrenkette geleitet (CO_2 kann, wie man aus den aeroïdotropischen Untersuchungen sehen wird, negative Reaktionskrümmungen auslösen). Sogleich begann das Entfernen der Keimlinge von dem Tonrohre an. Die angeführten Versuche mit Wurzeln in Erde und mit Sprossen in Luft scheinen dafür zu sprechen, daß Luftzutritt bei Luftmangel eine Reizwirkung auf die Pflanzen ausüben kann.

---

1) Nicht alle, da es sehr schwer war, durch Kombination der Diffusionsstärke und der Veränderung der Atmosphäre unter der Glocke gerade die zweckmäßigsten Luftdifferenzen in der Umgebung der Pflanze zu treffen, ohne dabei auch das Wachstum zu stören.

Nichtsdestoweniger behalten alle diese Erscheinungen eine gewisse Unbestimmtheit. Auch machen die besprochenen Versuche durchaus nicht klar, ob wir es in der Luft mit einer einheitlichen Wirkung eines Gemisches oder mit einem Aeroïdotropismus gegen Sauerstoff oder mit einer Resultante zweier oder vieler Reize zu tun haben.

In allen erwähnten Versuchen war es unmöglich, alle Bedingungen der Versuchsanordnung genau anzugeben, was für unzweideutige Ergebnisse unbedingt notwendig ist. Darum kann ich alle bis jetzt erwähnten Versuche nur als Vorversuche bewerten.

Anders ist es bei den nächstfolgenden aeroïdotropischen Untersuchungen. Hier konnte ich alle methodischen Forderungen, die mir notwendig schienen, durchführen, und diesen Versuchen habe ich meine Hauptaufmerksamkeit gewidmet.

Zum Schluß des Kapitels über Aerotropismus will ich noch zweier Angaben gedenken, die vielleicht auch in das Feld der zukünftigen aerotropischen Untersuchungen miteinbezogen werden dürfen.

Die eine dieser Angaben ist sehr alt und darf vielleicht als der erste, obwohl unbewußte Anfang aller weiteren aero- und aeroïdotropischen Untersuchungen angesehen werden; die andere ist ganz neu.

Im 17. Jahrhundert hat ein gewisser Dr. Sharroc „die Stengel seiner Versuchspflanzen nach derjenigen Stelle eines Fensters hinwachsen sehen, an der die Luft durch eine Öffnung freien Zutritt fand.“ [1])

Im Jahre 1905 finden wir eine analoge Erscheinung von einem modernen Forscher, Tondera, beobachtet.

Tondera fand, daß die Topfpflanzen während der Nacht „einer weiteren Krümmung gegen die Fensterscheibe unterliegen“ [1]), wobei

---

1) S. Sachs, J., „Geschichte der Botanik“, 1875, S. 581.

2) Tondera, M. F., „Über den Einfluß des Luftstromes auf wachsende Sprosse“ (Sur l'influence du courant d'air sur les pousses en croissance). Bull. intern. de l'Acad. de Sc. de Cracovie. Cl. d. Sc. Mat. et Nat. 1905.

er das Vorhandensein eines Luftstromes feststellte, nach dem hin diese Krümmung erfolgte. Auf Grund einer recht geistreichen Einrichtung hat er dieselbe Erscheinung — Krümmung der Sprosse dem frischen Luftzutritt entgegen — in einem Versuchskasten künstlich hervorgerufen.

Die konstatierten Tatsachen sind in beiden Fällen sehr interessant, lassen aber noch auf ihre Erklärung warten. Denn die beiden von den genannten Forschern gegebenen Erklärungen sind vollständig ungenügend. Obwohl die zweite aus dem Jahre 1905 stammt, läßt sie sich mit der ersten zusammen durch folgende Worte von Sachs bewerten. Sachs schreibt: „die wichtigste Rolle bei den Erklärungen spielte (im XVII. und XVIII. Jahrhundert), die Feuchtigkeit und Wärme, deren Wirkungsweise jedoch nur in ganz allgemeinen Ausdrücken angedeutet wurde; man sprach von den mechanischen Vorgängen in der Pflanze ungefähr so, wie Jemand, der nur ganz unbestimmte Vorstellungen von den Eigenschaften des Dampfes und dem inneren Bau einer Dampfmaschine besitzt, über die Bewegungen derselben reden würde“ [1]).

Sharroc erklärte die beobachteten Krümmungen durch Wärme, Tondera durch Feuchtigkeitswirkungen.

Die Erklärung von Tondera lautet wie folgt: durch den Luftstrom wird der Wasserdampf, den der Stengel der Pflanze durch seine Oberfläche ausscheidet, „von der vorderen und den seitlichen Oberflächen desselben fortgetragen; nur die Rückseite des Stengels wird vom Luftstrom verschont, und ist von ausgeschiedenem Wasserdampf umgeben. An dieser Stelle tritt ein erhöhtes Wachstum zutage, wodurch die Krümmung gegen den Luftstrom hervorgebracht wird“ [2]). Versuche, die diese Erklärung unterstützen sollen, sind ohne jegliche Angaben über die Einzelheiten der Versuchsanordnung angeführt, betragen kaum eine Hälfte der letzten Seite und sind weder klar noch überzeugend.

---

1) Sachs l. c., 1875, S. 584.
2) Tondera l. c., 1905, S. 735.

Wenn diese Erscheinungen tropistischer Natur sind, so müssen sie mittelst einer den neuesten Auffassungen der Reizphysiologie entsprechenden Methodik neu untersucht werden. Es wäre wünschenswert, sie dabei auch vom Standpunkte des möglichen Aerotropismus zu prüfen. — Ich wende mich jetzt zu den aeroïdotropischen Untersuchungen, die unzweideutige Resultate ergeben haben, und mir die Möglichkeit gewährten mich meinem Ziele zu nähern, den Gang des Reaktionsprozesses genauer zu verfolgen und zahlenmäßig auszudrücken.

Abschnitt II.

Untersuchungen über den Reizvorgang auf Grund der Erscheinungen des Aeroïdotropismus.

Viertes Kapitel.

Allgemeine methodische Erörterungen und Forderungen.

Die Erscheinungen der Reaktion der Pflanzen auf die einseitige Einwirkung bestimmter einzelner Gase sind, wie gesagt, zuerst von Molisch konstatiert worden[1]). Später wurden sie von Sammet[2]) und Bennet[3]) mehr oder weniger systematisch und in Anschluß an Molisch weitergeführt. Alle drei haben hauptsächlich mit Wurzeln höherer Pflanzen gearbeitet. Außer einigen anderen Gasen wurden H, N, CO_2 und O als Reizanlässe untersucht; diese vier Gase sind auch von mir als Reizanlässe geprüft worden.

Die auf sehr gewissenhaften Untersuchungen beruhenden Ergebnisse Molischs und die Resultate Sammets stimmen jedoch nicht überein.

1) Molisch, H., „Über die Ablenkung der Wurzeln von ihrer normalen Wachstumsrichtung durch Gase (Aerotropismus)." Sitzber. d. Kais. Akad. d. Wiss. zu Wien, I. Abt. 1884.

2) Sammet, R., „Untersuchungen über Chemotropismus und verwandte Erscheinungen bei Wurzeln, Sprossen und Pilzfäden". Jahrb. für wiss. Bot., Bd. XLI., 1905.

3) Bennet, M. C., „Are roots aerotropic? Bot. Gazette, Vol. XXXVII, 1904. (Obwohl die Arbeit von Bennet ein Jahr früher als die von Sammet erschien, wurden die Untersuchungen des letzteren, nach seinem Zeugnis, vor deren Erscheinung schon abgeschlossen).

Über die Versuche mit CO_2 bemerkt Sammet selbst, daß seine Ergebnisse anders als die von Molisch ausfallen[1]).

Dasselbe gilt für Sauerstoff. Obwohl Sammet hier eine Übereinstimmung seiner Resultate mit denen von Molisch zu finden glaubt, sind sie diesen tatsächlich gerade entgegengesetzt. Nach Sammet antworteten die Wurzeln auf inäquale Verteilung des Sauerstoffs „nur durch eine positive Reaktionskrümmung“[2]); nach analogen Versuchen von Molisch zeigten die Wurzeln entweder sofort eine negative Reaktionskrümmung, oder zuerst eine leichte Zukrümmung, die aber bald durch eine negative verdrängt wurde[3]). Die Versuche von Sammet geben in seinen Tabellen ein durchgängiges + Zeichen[4]), während Molisch seine Angaben folgendermaßen resumiert: „es krümmten sich somit von den 23 geprüften Wurzeln 20 mehr oder minder deutlich von der sauerstoffreichern Atmosphäre weg“[5]), d. h. von 23 insgesamt 20 mit — Zeichen.

Bennet bemüht sich dagegen, die Reizbarkeit der Pflanzen gegen Gase überhaupt als nicht existierend und die von Molisch beobachteten Krümmungen als hydrotropische darzustellen. Die Ergebnisse der Versuche von Bennet lassen sich aber meistens in folgender Form zusammenfassen: es haben fast gleichviele Wurzeln — Krümmungen gegeben wie + Krümmungen und ungefähr ebenso viele sind indifferent geblieben. Diese Resultate können daher nicht als die Nichtexistenz des Aerotropismus beweisende betrachtet, sondern müssen vielmehr als unbestimmte bezeichnet werden.

Der einzige Versuch von Bennet, der die Krümmungen bei Molisch als hydrotropische erweisen soll, hat dieselbe unbestimmte Form. Dabei ist er auf einem Mißverständnisse gegründet. Bennet hat nämlich die Vermutung über den Hydrotropismus auf der Voraussetzung aufgebaut, daß Molisch seine Diffusionsgefäße mit einer

1) Sammet l. c., 1905, S. 28.
2) Ders. l. c., 1905, S. 3.
3) Molisch l. c., 1884, S. 10.
4) Sammet l. c., 1905, Tab. 8.
5) Molisch l. c., 1884, S. 16.

Korkplatte geschlossen hielt (in welcher ein Spalt ausgeschnitten war, um die Diffusion des Gases aus dem Gefäße auf die Wurzeln zu ermöglichen). Die Korkplatte aber, meinte Bennet, wird leicht mit Wasser durchtränkt; während des Versuches wird das Wasser teilweise abgegeben und ruft die hydrotropischen Zukrümmungen hervor. Ohne davon zu sprechen, daß diese Vermutung keine Erklärung für die zahlreichen negativen Krümmungen in den Versuchen Molischs gestattet, soll bemerkt werden, daß Molisch keine Korkplatten, sondern Platten aus Hartkautschuk für seine Zwecke gebraucht hat[1]), die, wie bekannt, keineswegs als hygroskopisch gelten können.

Wir finden schon in den Versuchen von Molisch selbst, daß er den Einwand des Hydrotropismus vorhergesehen und auf experimentellem Wege zu beseitigen versucht hat.

Molisch schreibt, daß die Wurzelbewegungen unterbleiben, „falls das Versuchsgefäß nicht mit Sauerstoff, sondern mit feuchter atmosphärischer Luft gefüllt wird“[2]). Dadurch ist der Beweis erbracht, daß nicht irgend welche Teile des Versuchsapparates durch ihre hygroskopischen Eigenschaften die beobachteten Krümmungen bewirkt haben konnten.

Gewiß aber ist dadurch noch nicht die Möglichkeit der Mitbeteiligung des Hydrotropismus bei der Einwirkung der strömenden Gase beseitigt. Dies haben für die Wurzeln die Versuche von Sammet geleistet. — Wenn die zu untersuchenden Objekte in dem dampfgesättigten Raume sich befanden, lösten nur dampfgesättigte Strömungen bestimmter Gase Krümmungen aus; dampfgesättigte Luftströme aber derselben und höherer Schnelligkeit blieben ganz ohne Wirkung. Daß dabei nicht nur Hydrotropismus, sondern auch irgend eine mechanische Einwirkung des Stromes ausgeschlossen ist, zeigen Sammets Versuche mit Luftströmen, welche als Resultat einer schnellen Bewegung von Windflügeln (durch Elektromotor in Bewegung gesetzt), zustande gebracht wurden[3]). Unter der Be-

1) Molisch l. c., 1884, S. 9.
2) Ders. l. c., 1884, S. 10 Anm.
3) Sammet l. c., 1905, S. 24, Fig. 7.

dingung, daß der Feuchtigkeitsgrad der die Pflanze umgebenden Atmosphäre und der des Luftstromes der gleiche war, blieben die bei der Gaseinwirkung beobachteten Krümmungen in diesen Versuchen, gleichviel ob der Strom sich mit der Schnelligkeit 20 cm oder 2 m in 1 Sek. bewegte, bei SAMMET, aus[1]).

Daß auch die Reizkrümmungen gegen Gase, die ich bei Sprossen beobachtet habe, keine hydrotropischen sein konnten, werden Versuche mit Einwirkung verschiedener Gase, die bei demselben Feuchtigkeitsgrade verschiedene Erfolge hervorriefen, und Kontrollversuche mit Lufteinwirkungen mit voller Deutlichkeit feststellen.

Die Unbestimmtheit der Resultate von BENNET, ebenso wie die Widersprüche zwischen MOLISCH und SAMMET können aus den methodischen Erwägungen ihrer Versuche verstanden werden. Ohne weiter auf die Kritik der Einzelheiten einzugehen, soll das was in der Methodik der erwähnten Arbeiten unzureichend ist, im allgemeinen zusammengestellt werden, soweit dies die nothwendigen methodischen Forderungen der weiteren Untersuchung bestimmt.

1. Die Pflanzen wurden nicht unter normalen Lebensbedingungen untersucht. Wasser ebenso wie Luft, in denen die Hauptzahl der Versuche ausgeführt wurde, eignen sich nicht für eine normale gesunde Existenz der Wurzeln gewöhnlicher Landpflanzen. Daß die Wurzeln sich dabei in der Tat schlecht fühlten, bezeugen einige Bemerkungen von MOLISCH und BENNET selbst, die anomales Wachstum und unregelmäßige Nutationen konstatieren.

2. Die Pflanzen wurden in den Versuchsapparat unmittelbar vor dem Anfange des Versuches hineingebracht, wobei die Bedingungen ihrer Umgebung mit einem Male nicht nur in einer, nämlich in der die Forscher interessierenden Beziehung, sondern vielfältig und dabei unbestimmt modifiziert wurden.

3. Die Unbestimmtheit dieser neuen Bedingungen erstreckte sich auch auf die zu untersuchende Beziehung:

1) SAMMET l. c., 1905, S. 23, 24.

a) Die Menge des einwirkenden Gases blieb vollständig unbekannt.

b) Die notwendigen Gasdifferenzen in der Umgebung der Pflanzen wurden in kürzester Zeit aufgehoben, da die Diffusion durch Seide oder durch eine offene Spalte mit großer Geschwindigkeit vor sich geht, wobei die Menge des Gases in der Nähe der Spalte, d. h. gerade in der Umgebung der Pflanzen, besonders schnell sich der Ausgleichung nähert.

c) Da gewöhnlich keine Maßregeln für die Entfernung des diffundierenden Gases aus dem Gefäße, in dem die Pflanzen sich befanden, vorgenommen wurden, mußte durch dessen unverhinderte Anhäufung die Empfindlichkeit der Pflanzen gegen weitere Diffusion, dem Weberschen Gesetze gemäß, fortwährend, und dabei wieder unbestimmt, verändert werden.

Im allgemeinen ist für die gebrauchte Methodik folgendes Zitat aus Molisch charakteristisch: „Die Maiskörner und die Kotylen der Erbsen wurden in nasse Baumwolle eingehüllt und mit Stecknadeln auf einem am Glashalse angesiegelten Kork derart befestigt, daß die Wurzeln in einer Ausdehnung von 6—10 mm ganz knapp vor den Spalten hingen. Es ist wohl kaum nötig zu bemerken, daß besonders die erste Operation sehr rasch ausgeführt werden muß, da sonst zu viel Sauerstoff durch die Spalten hinaus diffundieren und die Sauerstoffdifferenzen in der Umgebung der Wurzel demgemäß zu gering ausfallen würden“ [1]).

Es ist demnach auch nach Molisch möglich, daß die nötigen Gasdifferenzen nach wenigen Minuten verwischt worden sind. Desto merkwürdiger erscheint der folgende methodische Fehltritt, der allen zitierten Untersuchungen, und nicht nur ihnen, sondern auch anderen Untersuchungen mit Chemotropismus überhaupt eigen ist [2]).

4. Die Pflanzen blieben im Verlauf vieler Stunden der vermutlichen Gaseinwirkung ausgesetzt und die Ergebnisse wurden erst

1) Molisch l. c., 1884, S. 9; von mir gesperrt.

2) S. z. B. Newcombe, Fr. C. and Rhodes, A. L., „Chemotropism of roots“. Bot. Gazette, Vol. XXXVII, 1904.

nach 6, 12, 24 oder sogar 120 Stunden (Bennet) notiert. Von zwei verschiedenen Standpunkten aus erscheint dieses letzte Verfahren unzulässig. Wenn man sich fürs erste beeilen muß, um die Gasdifferenzen während der ersten Minuten nicht zu verfehlen, so ist es klar, daß bei der Diffusion durch Spalten (und dasselbe gilt für Seide) nicht erst nach 24 oder 120 Stunden, sondern vielleicht schon nach 1 Stunde (wie aus meinen Versuchen deutlich sichtbar wird) alle Erscheinungen nicht nur der Reaktion (falls die wenigen Minuten der Gasdifferenzen genügten, um sie auszulösen), sondern auch der Nachwirkung und des Autotropismus in den meisten Fällen ausgeglichen werden mußten.

Die Ergebnisse des Zustandes der Wurzeln nach vielen Stunden können gewiß ein Interesse bieten. Sie dürfen aber keinesfalls in eine direkte Beziehung zu den ersten Momenten der Gaseinwirkung gebracht werden.

Außerdem sind die erwähnten längeren oder kürzeren Perioden wegen ihrer Willkür unzulänglich. Es ist vollständig unklar, warum die Resultate nach 16, 22 Stunden und nicht nach 2, 3, 10 Stunden, die von den ersteren ganz verschieden sein können (vgl. z. B. Molisch), als entscheidende betrachtet werden müssen. Es genügt anstatt jener diese zu nehmen, um ein ganz anderes Bild der Beziehungen zwischen Gas und Pflanze zu bekommen.

5. Ein methodischer Fehler, der mit dem eben erwähnten in enger Beziehung steht, ist der, daß wir nirgends Daten über den Verlauf des ganzen Prozesses, sondern nur einzelne Angaben, im besten Falle (wie bei Molisch) über einige Zwischenpunkte und dann über willkürliche Endmomente, oder gewöhnlich nur über willkürlich als Endmomente hervorgehobene Punkte finden.

6. Das letzte, was noch zu erwähnen bleibt, ist wieder allen genannten Arbeiten und nicht nur ihnen, sondern überhaupt der Mehrzahl der tropistischen Untersuchungen gemeinsam und überall, wie mir scheint, gleich wenig wünschenswert.

Wie für die Versuche von Molisch, Sammet und Bennet, so ist auch für viele andere reizphysiologische Untersuchungen ein

summarisches Verfahren charakteristisch, d. h. man untersucht viele Pflanzen auf einmal. Ohne alle möglichen guten Seiten des summarischen Verfahrens zu leugnen, meine ich, daß ein solches Verfahren bei der näheren Untersuchung des Reizprozesses, der im ganzen noch wenig bekannt ist, noch nicht am Platze ist.

Beim summarischen Verfahren bleiben gewöhnlich die Eigenschaften einzelner untersuchter Objekte, wie Wachstum, Nutation, Stimmung usw., vollständig unbekannt. Man meint, daß dieses Verfahren die möglichen individuellen Verschiedenheiten ausschließt und so zu den genauen Resultaten verhilft. Es treten aber an Stelle der beseitigten andere Fehler auf. Wie bekannt, sind in vielen Fällen die Reaktionen der Pflanzen auf ganz verschiedenartige Reizanlässe einander gleich, selbst wenn die Perzeption verschieden ist. Indessen werden bei dem summarischen Verfahren ohne genügende Gründe alle in dem gegebenen Momente beobachteten Reaktionen oder Nichtreaktionen auf die Rechnung des einen untersuchten Reizanlasses bezogen. Mit anderen Worten: man vergleicht und faßt zusammen, was vielleicht ganz unvergleichbar und verschiedenartig ist.

Ich will ein Beispiel anführen, in dem die Unbestimmtheit der Resultate des summarischen Verfahrens besonders deutlich zutage tritt. Es wurden 165 Wurzeln der *Raphanus*-Keimlinge auf die Wirkung von CO_2 geprüft. Nach 24 Stunden zeigen 31 Wurzeln + Krümmungen zu CO_2; 34 Wurzeln — Krümmungen von der CO_2-Quelle weg; 100 bleiben indifferent[1]). Daraus wird geschlossen, daß *Raphanus*-Keimlinge auf CO_2 nicht reagieren.

Es bleiben aber folgende Fragen dabei ohne Antwort: Wie haben sich die 100 „indifferenten" Wurzeln während der 24 vergangenen Stunden verhalten? Vielleicht war die Geradstreckung einiger von ihnen ein Resultat des Autotropismus, nachdem die Gasdifferenzen ausgeglichen waren. Vielleicht hatten einige von 100 aus irgend welchem Grunde ihr Wachstum eingestellt, und ohne

1) Bennet, 1904, Abschn. 3.

Wachstum ist nach meinen Untersuchungen keine äroïdotropische Reaktion möglich, usw.

Und dann: was stellen die 31 + Krümmungen und die 34 — Krümmungen vor? Sind vielleicht einige als Ergebnis der Nutationen, andere als noch aktive oder fixierte — oder + Krümmungen gegen CO_2 aufzufassen? usw.

Auf Grund aller dieser Erwägungen habe ich folgende methodischen Hauptforderungen für die Untersuchung des Reizprozesses aufgestellt und mich bemüht, ihnen in meinen Versuchen möglichst vollständig nachzukommen.

1. Die Pflanzen müssen unter normalen Lebensbedingungen untersucht werden. Diese Forderung wurde dadurch befriedigt, daß als Objekt der Untersuchung Sprossen der normal in Erde wachsenden Pflanzen gebraucht wurden.

2. Die Pflanzen dürfen nicht unmittelbar vor dem Versuche in den Apparat übergeführt, sondern müssen erst an den Apparat gewöhnt werden. Die Töpfchen mit den Pflanzen wurden dementsprechend mindestens 24 Stunden vor dem Versuche in den Apparat gestellt.

3. Alle Bedingungen des Versuches sind möglichst vollständig zu bestimmen. Um dem Wechsel der Beleuchtung und der Temperatur vorzubeugen, wurden alle Versuche in einem Dunkelraum ausgeführt, in dem die Temperatur reguliert werden konnte. In dem Apparate, in dem die Versuche ausgeführt wurden, wurde die Atmosphäre dampfgesättigt gehalten. Die Temperatur und die Feuchtigkeit des einwirkenden Gases waren denen im Apparate gleich. Dabei wurde:

a) die Menge des diffundierenden Gases bei den vorhandenen Bedingungen der Temperatur und des Druckes, mittelst eines geeigneten Apparates nach Bunsen[1]), mit möglichst großer Genauigkeit festgestellt;

1) Bunsen, R., „Gasometrische Methoden". Braunschweig 1877, 2. Aufl.

b) während des ganzen Verlaufs des Versuches die Gasdifferenzen in der Umgebung der Pflanzen denen am Anfang des Versuches gleich gehalten;

c) der Anhäufung von Gas im Apparate, die nach dem Weber-schen Gesetz die Empfindlichkeit der Pflanze zu der weiteren Diffusion modifizieren konnte, entweder durch Verbindung des Apparates mit der umgebenden Atmosphäre und Aussaugen oder auch durch Absorption usw. vorgebeugt.

4. Die Perioden des Anmerkens der Resultate sollten nicht durch die Willkür des Beobachters, sondern durch seine Erwägungen auf Grund des Prozeßverlaufes bestimmt werden. Das konnte nur durch kontinuierliche Beobachtung geschehen.

5. Der Prozeß sollte Schritt für Schritt verfolgt werden. Die Möglichkeit dieser ununterbrochenen Beobachtung gab mir das Horizontalmikroskop, welches als systematisches Werkzeug der Untersuchung gebraucht wurde. Die Vergrößerung blieb klein (eine Teilung des Mikrometers gleich 0,25 mm), um die ständige Beobachtung zu ermöglichen, dabei aber in keinem Falle die normalen Bedingungen des Versuches zu stören.

6. Die Unbestimmtheiten des summarischen Verfahrens sollten vermieden werden. Ich habe anstatt des summarischen Verfahrens das singulare Verfahren angewandt: jede Pflanze wurde für sich untersucht. Vor dem Versuche wurden die Verhältnisse des Wachstums und der Nutation mittelst des Horizontalmikroskopes festgestellt, so daß man keine Gefahr laufen konnte, die Reaktionsbewegungen mit Nutationsbewegungen oder irgend welchen anderen Krümmungen zu verwechseln.

Die individuellen Unterschiede konnten durch Untersuchung vieler Individuen — aber jedesmal einzelner Individuen — beseitigt werden.

Das singulare Verfahren fordert allerdings viel mehr Vorsichtsmaßregeln, viel mehr Zeit und Aufmerksamkeit. Das alles wird aber

durch die größere Genauigkeit der dabei erhaltenen Resultate aufgewogen.

Dies sind die allgemein methodischen Forderungen, die ich als Grundlage für meine Versuchsanordnung betrachtet habe.

Ich will jetzt einige allgemeine Ergebnisse meiner Versuche anführen, um damit in Kürze den Plan der folgenden Untersuchungen anzuzeigen.

Wie gesagt, habe ich Sprossen höherer Pflanzen untersucht. Ihr Verhalten ist bis jetzt nur einmal, und zwar mit negativem Erfolg, bei der Einwirkung von Gasen durch SAMMET[1]) geprüft worden. Nach SAMMET müssen die Sprosse höherer Pflanzen und von den niederen Pflanzen die Fruchtträger von *Phycomyces nitens* als unempfindlich gegen Gase angesehen werden[2]). Indem ich aber die aufgestellten methodischen Forderungen in meinen Versuchen durchführte, gelang es mir, fast alle von SAMMET untersuchten und als indifferent bezeichneten Pflanzen sowie auch einige andere als empfindlich und reaktionsfähig gegen Gase festzustellen.

Es erwiesen sich in meinen Versuchen folgende Pflanzen als aeroïdotropisch: *Brassica Napus* und *B. rapa*, *Sinapis alba*, *Vicia sativa* und *V. faba*, *Helianthus annuus*, *Lupinus albus* und *Phaseolus multiflorus*.

Ebenso müssen die Fruchtträger von *Phycomyces* als empfindlich gegen CO_2 anerkannt werden. Die Art, wie die *Phycomyces*-Fruchtträger die Bewegungen ausführen, hat sich als eine eigenartige erkennen lassen. Darüber berichtet das achte Kapitel dieses Abschnittes.

Ein abweichendes Verhalten zeigen die Gramineen (Kapitel 7): *Hordeum vulgare*, *Avena sativa*, *Triticum vulgare* und *Secale cereale* in verschiedenen Stadien der Entwicklung (im Anschluß an Versuche ROTHERTS[3]) geprüft, zeigten sich indifferent.

---

1) SAMMET l. c., 1905.
2) DERS. l. c., 1905, S. 31, 32.
3) ROTHERT, W., „Über Heliotropismus". Cohns Beitr. 1896, Bd. VII.

Einzelne Gase, nämlich Wasserstoff und Stickstoff, haben sich als unwirksam erwiesen.

Die Krümmungen gegen Stickstoff, die Molisch beobachtet hat, und die ich auch bei meinen ersten Versuchen bemerkt habe, zeigten sich bei genauer Prüfung als Resultate der Verunreinigung des Gases, jedenfalls teilweise durch Ammoniak, was mir später die Kontrollversuche bestätigt haben.

Sauerstoff und Kohlensäure sind beide als Reizanlässe wirksam.

Als das beste Reizmittel für meine oben erwähnten Zwecke, den Gang des Reaktionsprozesses zu untersuchen und dessen einzelne Momente näher zu präzisieren, hat sich CO_2 erwiesen. Darum habe ich meine Hauptaufmerksamkeit auf Versuche mit CO_2 gelenkt.

Den Gang der Reaktionsbewegung habe ich dabei von Anfang an bis zum Ende schrittweise verfolgt und gebe die Resultate für den Aeroïdotropismus (in den Kapiteln 6ff.) zahlenmäßig und in Kurven ausgedrückt an.

Als einzelne Momente des Reizprozesses betreffende Fragen habe ich einstweilen die Fragen der Trennung zwischen Perzeption und Reaktion (Kapitel 10), der Präsentations- und Reaktionszeit (Kapitel 11) und der Perzeptionszeit (Kapitel 12) näher erörtert.

In dem III. Abschnitte (Kapitel 11) sind auch die Resultate der Untersuchung über den Gang des geotropischen Reaktionsprozesses, gleichfalls in Zahlen und Kurven, angegeben.

Fünftes Kapitel.

Speziellere Methodik.

Nachdem die allgemeinen methodischen Forderungen, für die weitere Untersuchung klargelegt sind, gehe ich zu den Einzelheiten der Versuchsanordnung für den Äroïdotropismus über. Die Ver-

suchspflanzen wurden in Wasser, dann auf feuchtem Filtrierpapier zum Keimen gebracht und darauf in Erde in kleinen Töpfen in demselben Dunkelraume gezogen, in dem auch die Versuche ausgeführt wurden.

Der zu untersuchende Keimling wurde einen Tag oder mehr vor dem Versuche in demselben Töpfchen in den Apparat unter eine tubulierte Glasglocke übergeführt (Fig. 2).

Die Glasglocke G sollte die Möglichkeit geben, während des ganzen Versuches bestimmte Bedingungen der Temperatur und der Feuchtigkeit ungestört zu bewahren. Das Volumen der Glasglocke (30 cm hoch; 15 cm breit) betrug 4—5 Liter, war also groß genug, um normale Luftverhältnisse für die Umgebung der Pflanze zu sichern.

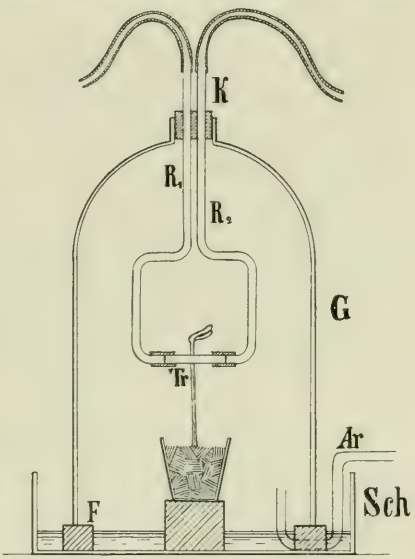


Fig. 2.
Apparat für die Untersuchung der aeroïdotropischen Reizvorgänge.

Bei stärkeren Strömen des untersuchten Gases, welche die Atmosphäre unter der Glocke hätten verändern können, wurde eine ununterbrochene Durchlüftung und Entfernung des diffundierenden Gases mittelst eines Wasseraspirators herbeigeführt.

Die Glocke stand auf Glasfüßchen (F) in einer Glasschale (Sch), die bis zu einer gewissen Höhe mit Wasser gefüllt wurde. Das Wasser sollte als Quelle der Luftfeuchtigkeit unter der Glocke dienen.

Die Glasglocke wurde, soweit es die Beobachtung nicht stören konnte, mit feuchtem Filtrierpapier ausgelegt, das sich in Verbindung mit der Wasserschicht in der Schale befand und auf diese Weise die beständige Dampfsättigung der Luft unter der Glocke besorgte.

Es wurde mittelst der Glasfüßchen F ein kleiner Abstand zwischen dem Glockenrand und der Fläche des Wassers in der

Schale erhalten, um die stete Durchlüftung der Atmosphäre unter der Glocke und im Falle der CO_2-Einwirkung den Abfluß dieses Gases zu erleichtern.

Im Tubulus der Glasglocke wurden oben mittelst eines Korkverschlusses (K) zwei gebogene Glasröhren (R_1 und R_2) so befestigt, daß sie leicht gehoben, gesenkt oder etwas zur Seite geschoben werden konnten.

Die beiden Glasröhren wurden im Apparate mittelst eines gebrannten, aber nicht glasierten (3 cm langen) Tonrohrstückes (Tr) in Verbindung gesetzt. Außerhalb des Apparates konnten sie mit einer Reihe von Waschflaschen, mit einer Gasbombe resp. einem Gasometer und mit einem Manometer in Verbindung gesetzt werden. An den Kautschukverbindungen wurden Quetschhähne angebracht, teils um die Stromkraft zu regulieren, teils um die einzelnen Partien der ganzen Kette der Waschflaschen und Röhren voneinander zu isolieren.

Die Stromkraft wurde vor dem Anfange des Versuches reguliert und erst dann die Waschflaschenreihe mit dem Rohre R_1 und demnach mit dem Apparate in Verbindung gesetzt.

Das Rohr R_2 stand mit einer Wasserflasche in Verbindung, durch die das Gas, nachdem es das Röhrensystem des Apparates passiert hatte, nach außen gelangte.

Bei den Versuchen, in denen das Gas einer Bombe entnommen wurde, wurde die Regulierung des Stromes hauptsächlich durch entsprechende Einrichtung an der Bombe selbst mittelst eines Regulierhahnes ausgeführt.

Der Strom kam dampfgesättigt in die Glasröhren, so daß keine Differenz des Feuchtigkeitsgrades zwischen dem diffundierenden Gase und der Atmosphäre in der Umgebung der Pflanze bestand.

Die Temperatur im Versuchsraume wurde auf 20° C gehalten. Diese Temperatur werde ich weiterhin als „Normaltemperatur“ der Versuche bezeichnen.

Der Druck des Gases in den Glasröhren des Apparates wurde beständig gleich 70—80 mm Wassersäule gehalten. Ich nenne ihn „Normaldruck“ der Versuche.

Bei allen ersten Regulierungen der Stromstärke wurde mittelst einer einfachen Einrichtung, eines großen Wasserbehälters und Meßzylinders, die ganze Menge des während einer bestimmten Zeiteinheit ausströmenden Gases bestimmt. Dabei wurde die Zahl der dieser Stromstärke entsprechenden, in jeder Minute[1]) durch eine als Zählflasche benutzte Waschflasche durchgehenden Bläschen festgestellt, um nach dieser Zahl und dem taktmäßigen Geräusch der Bläschen in der Zählflasche auch im Dunkeln genau feststellen zu können, ob der Strom seine ursprüngliche Stärke und Regelmäßigkeit während des ganzen Versuchs behielt.

Das Geräusch der Bläschen in der Zählflasche kann durch einen Resonator, etwa ein leeres Holzkästchen, verstärkt, in anderen Flaschen umgekehrt durch weiche Unterlagen abgedämpft werden.

Ich habe Ströme verschiedener Stärke gebraucht. Bei den schwächeren Strömen, die ich als „Ströme I. Ordnung“ bezeichne, gingen 50 ccm des Gases während 5 Minuten durch das Rohrsystem hindurch.

Bei den „Strömen II. Ordnung“ war die Menge des Gases die doppelte.

Die Ströme konnten nach Belieben noch weiter verstärkt oder verringert werden.

Beim Durchströmen des Tonrohres im Apparate trat ein Teil des Gases durch Diffusion nach außen und wirkte auf die Pflanze ein.

Das Tonrohr wurde von einer Seite abgefeilt, so daß das diffundierende Gas gerade hier seinen Hauptausgang fand (Fig. 3, Tr. Qu.).

Mit dieser abgefeilten Seite wurde das Tonrohr gegen die Pflanze gerichtet. Für die Versuche war es wichtig, die Menge des

---

1) Öfters aber in jeden 5 Sek.

diffundierenden Gases bei den gebrauchten Stromgrößen zu bestimmen.

Diese Menge des diffundierenden Gases wurde mittelst eines besonderen Apparates (Fig. 3) für das von mir gebrauchte Diffusionsrohr mit allen Vorsichtsmaßregeln der Gasmeßmethoden und mit den nötigen Korrektionen, nach BUNSEN [1]), festgestellt.

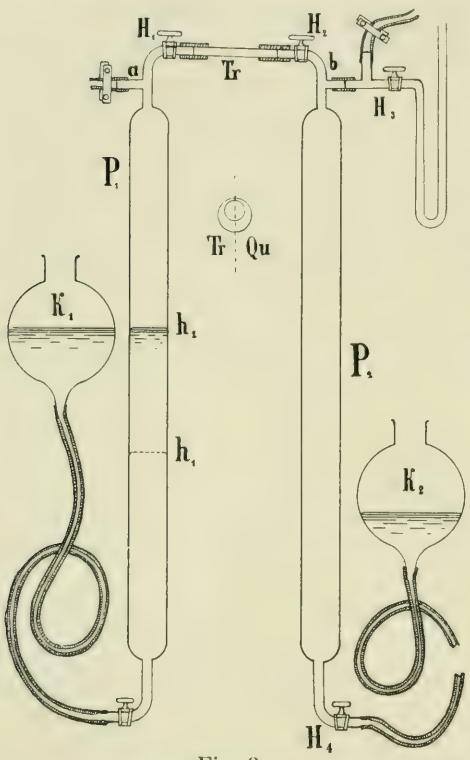


Fig. 3.
Apparat für die Untersuchung der Diffusionsgeschwindigkeit der einwirkenden Gase.

Die Messungen der Diffusionsgröße waren mir hauptsächlich bei den Versuchen mit CO_2 von großer Bedeutung. Diese habe ich in folgender Weise ausgeführt.

Das zu untersuchende Tonrohr (Tr) wurde zwischen zwei kalibrierten, 100 ccm fassenden Meßpipetten (P_1 und P_2) eingeschaltet.

Zuerst wurde alles mit Quecksilber gefüllt, dann wurde in P_1 eine bestimmte Menge von CO_2 durch das Rohr a eingeführt, darauf die Höhe der Hg-Säule h (bei atmosphärischem Druck) mit den nötigen Korrektionen nach BUNSEN festgestellt. Alsdann wurden die Hähne H_1, H_2, H_3 geöffnet, so daß das Manometer etwas mehr als den „Normaldruck" der Versuche zeigte. Endlich wurde

1) BUNSEN l. c., 1877, S. 42.
Siehe auch KRAFFT, F., „Anorganische Chemie". 5. Aufl., 1904. Kap.: „Messen und Analysieren der Gase", S. 66 f.

H_1 geöffnet und durch eine korrelative Bewegung der Kugeln K_1 und K_2 bei dem „Normaldruck“ ein Teil des Gases aus P_1 in P_2 mit der Schnelligkeit der zu untersuchenden Stromstärke, also z. B. 50 ccm in 5 Min., übergeführt.

Nunmehr wurden alle Hähne zugedreht.

Es folgte die zweite Messung der Quecksilberhöhe h_2 in der Pipette P_1. Wurde das Resultat dieser Messung um das Resultat der ersten Messung vermindert, so ergab sich das Volumen des Gases, das durch das Tonrohr aus P_1 in P_2 übergeführt worden war.

Jetzt mußte die in P_2 befindliche CO_2-Menge bestimmt werden, damit erkennbar wurde, wieviel von dem Gase beim Durchgange des Tonrohres nach außen diffundiert war.

Da aber bei der Überführung des Gases nicht nur CO_2 aus dem Tonrohre heraus diffundiert, sondern teilweise auch Luft an deren Stelle eingedrungen war, dürfte das Gas in P_2 nicht einfach gemessen, sondern mußte der Analyse unterworfen werden.

Die ganze Menge des Gases wurde ohne jeglichen Verlust durch das Rohr b in einen Eudiometer übergeführt, dessen Kalibrierung von vornherein mit der Kalibrierung der Pipette P_1 verglichen worden war[1]).

Im Eudiometer wurde das ganze Volumen gemessen, dann die CO_2 durch KOH zur Absorption gebracht, und der kleine Rest, der die in das Tonrohr hineingekommene Luft darstellt, wieder gemessen, da er von dem ganzen Volumen abgezogen werden mußte.

Alle Messungen, auch im Eudiometer, wurden mit den nötigen Korrektionen auf Druck, Temperatur, Hg- und KOH-Meniskenwert usw. ausgeführt.

Alle Ablesungen geschahen mittelst eines Tonrohres. Nach

1) Die Menge des Gases zwischen H_1—H_2 wurde bei dieser Überführung außer acht gelassen; da aber ihr Volumen weniger als 0,1 ccm betrug und für die Analyse 30—50 ccm des Gases gebraucht wurden, konnte diese Größe das Endresultat nicht merklich beeinflussen.

einiger Übung bekam ich bei den nacheinander folgenden Messungen nur äußerst wenig voneinander abweichende Diffusionszahlen.

Das Endresultat war, daß bei der Stromstärke 50 ccm in 5 Minuten, bei der oben genannten Normaltemperatur und Normaldauer der Versuche durch Diffusion jede Minute 0,8—0,9 ccm CO_2 verloren wurde. Also betrug die Diffusionsgröße bei den Strömen „I. Ordnung“ 0,015 ccm in jeder Sekunde.

Die Ströme „II. Ordnung“ gaben eine doppelte Diffusion, also ungefähr 0,03 ccm in jeder Sekunde.

Diese beiden Stromstärken habe ich bei meinen Versuchen hauptsächlich gebraucht.

Um stärkere Einwirkungen zu erzielen, ließ ich das Gas nicht durch das Tonrohr, sondern durch die Öffnung eines Glasrohres auf die Pflanze diffundieren. Die Größe der Diffusion konnte in diesen Fällen auf einfache Weise berechnet werden. Ströme, bei denen 0,3 ccm des Gases in jeder Sekunde auf die Pflanze einwirkten, bezeichne ich als „Ströme III. Ordnung“.

Wenn in den Versuchsangaben der Ausdruck steht: „der Strom geöffnet“, so heißt dies, daß die Diffusion des Gases und seine Wirkung sofort anfing. Dazu waren alle Maßregeln getroffen: alle Waschflaschen wurden vor dem Versuche mit dem betreffenden Gase gefüllt; nur in den Röhren R_1, R_2 blieb Luft erhalten, deren geringe Menge jedoch in der ersten Sekunde nach der Öffnung des Stromes vollständig verdrängt wurde.

Wo gesagt wird: „der Strom abgestellt“, soll das eine sofortige und endgültige Beseitigung der weiteren Gaseinwirkung bedeuten. Dies wurde dadurch erreicht, daß nicht nur das Schließen des Stromes an der Bombe dessen Abstellung bewirkte, sondern diesem Stromschluß auch noch 1. eine Trennung des Rohres R_1 von der Kette der Waschflaschen, 2. ein Entfernen des Tonrohres von der Pflanze auf 2—3 cm durch das Heben der Glasröhren R_1, R_2 im Tubulus der Glasglocke und endlich 3. eine Durchlüftung des Röhrensystems im Apparate mittelst Durchsaugen der Luft folgte, was die letzten Spuren des Gases beseitigte.

Es bleibt jetzt noch von der Art der mikroskopischen Beobachtung des Vorganges zu berichten.

Die Beobachtungen wurden mittelst des Ablesemikroskopes von Leitz ausgeführt. Die vordere Linse wurde abgeschraubt. Dadurch wurde es möglich, das Mikroskop in einer Entfernung von ungefähr 20—30 cm von dem Apparate zu gebrauchen, so daß die Beobachtung in keiner Weise störend in die Versuchsanordnung eingreifen konnte.

Die Vergrößerung blieb dabei klein, aber für die einstweilen gesetzten Zwecke durchaus genügend. Die Messungen erfolgten mittelst eines Okularmikrometers, das in 100 Teile geteilt war. Bei der Beobachtung entsprach jede Mikrometerteilung 0,25 mm (also entsprachen je 4 Teile, die bei der reagierenden Bewegung die Pflanze im Mikroskope durchlief, ungefähr 1 mm des von ihr tatsächlich gemachten Weges).

Das Anmerken der Mikrometerangaben geschah im allgemeinen alle 5 Minuten, bei spezielleren Untersuchungen jede Minute.

Als Beleuchtung für das Anmerken habe ich Kerzenlicht gebraucht, das für einen Moment[1]) einmal auf der einen Seite des Apparates, ein anderes Mal auf der entgegengesetzten aufgestellt wurde.

Kontrollversuche haben gezeigt, daß bei der Kürze, Schwäche und Wechselseitigkeit der angewandten Beleuchtung die heliotropischen Krümmungen ausgeschlossen blieben.

Das Tonrohr wurde, wo es nicht anders angegeben ist, $1—1^1/_2$ cm unter den Kotyledonen und in 2 mm Abstand von dem Sprosse aufgestellt. Dieser Abstand wurde, solange der Strom weiter einwirken mußte, auch bei den schon angefangenen Zu- oder Wegkrümmungen des Sprosses durch die außerhalb des Apparates vollzogene regulierende Bewegung der Röhren R_1, R_2 aufrecht erhalten.

Das Mikrometer wurde in den meisten Fällen auf den Teil des Sprosses unmittelbar unter den Kotyledonen gerichtet, wo die Bewegung gewöhnlich ihren Anfang nahm. Es ist von selbst klar, daß

1) Ungefähr 10 Sek. brauchte ich gewöhnlich, um die Teilstriche des Mikrometers mit dem Auge zu fixieren.

dabei der im Mikroskope beobachtete Weg kleiner war als der, der die Spitze des Keimlings während derselben Zeit durchlief. Aber in dieser Weise konnte die Einstellung des Mikrometers bei den Dikotylen am genauesten geschehen. Die Zahlen geben demnach, obwohl sie nicht so groß sind, wie sie sein konnten, den Verlauf und den Charakter der Bewegung vollständig an.

Bei den Versuchen mit Gramineen wurde das Mikrometer auf die Spitze des Keimlings eingestellt.

Der Sproß befand sich dabei zwischen zwei bestimmten Teilstrichen und jede Abweichung, wie seitlich, so auch von der Vertikale, wurde im Mikroskope sofort sichtbar.

Ich habe für mich öfters die beiden Reihen von Zahlen, die dem Stande der linken und der rechten Flanke des Sprosses entsprachen, notiert, obwohl jede von ihnen für sich genügt, um den Gang des Prozesses zu verdeutlichen.

Bei den Versuchen habe ich gewöhnlich die Einwirkung der Gase auf solche Pflanzen studiert, die sonst keine seitlichen Bewegungen zeigten. Manchmal aber habe ich auch die Wirkung während einer schon vorhandenen oder anders induzierten Bewegung untersucht. Dann wurde die Richtung der Einwirkung derjenigen der schon vorhandenen Bewegung entweder gleichgerichtet oder entgegengesetzt orientiert. Die Frage war dabei, ob das einwirkende Gas in die zuerst in ihrem Verlaufe mikroskopisch bestimmte Bewegung irgendwie modifizierend eingreifen konnte. Diese Art der Versuche schien mir besonders bei den reizinaktiv scheinenden Gasen von Wichtigkeit. Denn dabei konnte immer die Vermutung bleiben, daß wenn auch das Gas nicht imstande wäre das Gleichgewicht des Objektes allein zu stören, es doch vielleicht den schon vorhandenen labilen Zustand irgendwie beeinflussen könnte.

Als induzierende Reize für solche Kontrollversuche wurde öfters die heliotropische Reizung gebraucht.

Sechstes Kapitel.

Gang der Reaktionsbewegung bei der Einwirkung von Kohlensäure.

Dikotylen.

Wie gesagt, hat sich CO_2 als das beste Reizmittel erwiesen, um den Gang des Reaktionsprozesses genauer zu studieren. Um vor allen möglichen schädlichen Beimischungen sicher zu sein, habe ich das Gas aus Bomben benutzt, die mit CO_2 aus Mineralquellen gefüllt waren.

Die Mehrzahl der Versuche habe ich mit Hypokotylen von *Helianthus annuus* ausgeführt. Wie im vorhergehenden Kapitel klargelegt ist, ließ ich Ströme von CO_2 verschiedener Stärke durch die Rohre des Apparates durchgehen, so daß ein bestimmter Teil davon durch das Tonrohr auf die Pflanze diffundierte (und zwar ununterbrochen, nicht intermittierend, wie der beharrliche Manometerstand anzeigte) und als Reizanlaß wirkte. Für sofortige Entfernung des diffundierenden Gases wurde durch Aussaugen mittelst eines Siphons und durch Absorption mittelst KOH (in einem Gläschen im Apparate) gesorgt.

Dabei habe ich folgende Beziehungen der Sprosse zu CO_2, die in den folgenden Versuchen zahlenmäßig ausgedrückt sind, feststellen können.

Ströme von CO_2 I. Ordnung rufen in der größten Mehrzahl der untersuchten Pflanzen zuerst eine positive Krümmung zu dem diffundierenden Gase hervor, die aber bei längerer Einwirkungsdauer in eine negative übergeht.

Die positiven Krümmungen dürfen nicht als erstes Stadium des Prozesses angesehen werden, sondern als eine selbstständige Reaktion auf die kurze Einwirkungsdauer der kleinen Mengen der einwirkenden CO_2. Denn wenn man den Strom abstellt, ehe die zeitliche Reizschwelle für die negative Krümmung erreicht ist, so kommt nur eine ausgeprägte positive Krümmung zustande.

Diese „anlockende“ Wirkung der CO_2 ist auch teilweise von Molisch und mit größerer Bestimmtheit von Sammet für Wurzeln festgestellt worden. Vielleicht läßt sie sich aus der Tatsache am besten verstehen, daß das Optimum von CO_2 für die Lebensäußerungen der Pflanzen höher liegt als ihr Gehalt in der Luft[1]).

Ströme von CO_2 II. Ordnung veranlassen von Anfang an eine negative Krümmung von dem Rohre weg.

Stärkere Ströme haben immer und sofort mikroskopisch sichtbare negative Krümmungen als Reaktion der Pflanzen zur Folge.

Der Reaktionsverlauf zeigte aber in allen Fällen, ob negativ oder positiv, ob schneller — bei stärkeren und längeren Einwirkungen —, oder langsamer — bei schwächeren und kürzeren —, in den Hauptpunkten denselben Charakter, wie dies die folgenden Tabellen und Kurven verdeutlichen werden.

Luftströme derselben Feuchtigkeit und Temperatur wie die CO_2-Ströme und die Atmosphäre im Apparate, sowie von derselben und größerer Diffusionsintensität (durch Überdruck erhalten) als die Kohlensäureströme, haben sich unter sonst gleichen Bedingungen als durchaus unwirksam erwiesen. Sobald der Luftstrom durch einen CO_2-Strom ersetzt wurde, kamen auch die Reaktionen zustande. Diese Versuche zeigen, daß die Möglichkeit der Mitwirkung des Hydrotropismus an den beobachteten Reizvorgängen ausgeschlossen war.

Bei diesen Versuchen mit Dikotylen und CO_2 ist, das Wachstum der Keimlinge vorausgesetzt, kein einziger Versuch mißlungen und kein einziger widersprach dem anderen. Jeder gab, dank dem singularen Verfahren, ein ganz bestimmtes Bild der Reaktion ab.

Als Beispiel wähle ich zuerst einen Versuch mit Einwirkung des schwächsten CO_2-Stromes: Diffusion gleich ungefähr 0,015 ccm in 1 Sek. bei „normalen“ Temperatur- und Druckverhältnissen.

---

1) S. z. B. Chapin, P., „Einfluß der Kohlensäure auf das Wachstum“. Flora, Bd. XCI, Ergänzungsbd. zu 1902.

Die Mikrometerangaben sind so angeführt, wie ich sie bei den Versuchen notiert habe, ohne auf irgend eine Einheit gebracht zu werden.

Versuch.

Um 10 h 20′ stand ein 11 Mikrometerteile dicker Sproß zwischen den Mikrometerteilstrichen 41,5 und 52,5. Um 10 h 20′ wurde der Strom von CO_2 I. Ordnung geöffnet[1]). (Alle Waschflaschen wurden immer zuerst mit CO_2 gefüllt, so daß die Diffusion unmittelbar nach dem Öffnen des Stromes anfangen konnte).

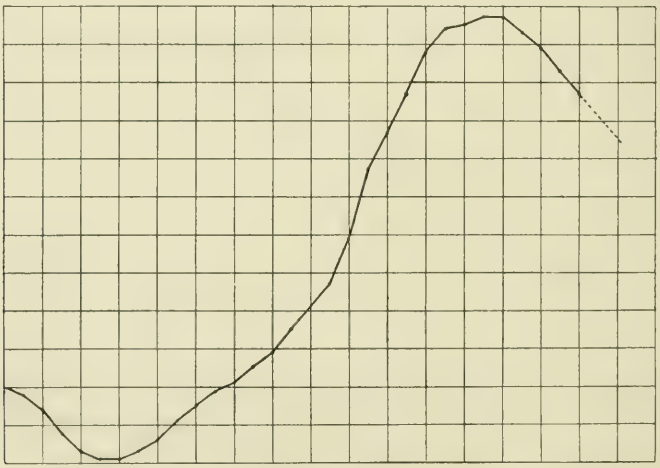
Der Gang der Reaktion in Zahlen.

Zeit	Mikrometer-angaben	Bemerkungen
10 h 20′	41,5—52,5	Strom von CO_2 I. O. geöffnet
25′	40,5	Anfang der **Zu**krümmung
30′	38,5	
35′	35,5	**Beschleunigung** der **Zu**krümmung
40′	33	
45′	32	Verlangsamung der **Zu**krümmung
50′	32	**Stillstand**
55′	33	Anfang der **Weg**krümmung
11 h 00′	34,5	
05′	37	
10′	39	
15′	41	
20′	42	
25′	44	
30′	46	
35′	49	**Beschleunigung** der **Weg**krümmung
40′	52	do.
45′	55	do.
50′	61	6 Mikrometerteile in 5 Min.
55′	70	9 Mikrometerteile in 5 Min.
		Der Strom abgestellt. Nachwirkung.
12 h 00′	75	**Verlangsamung** der Bewegung
05′	80	
10′	85	

1) Zuerst reguliert; erst dann wurde der Apparat in Verbindung mit den Waschflaschen und mit der Gasbombe gesetzt.

Zeit	Mikrometer-angaben	Bemerkungen
12 h 15′	88	
20′	88,5	Große Verlangsamung
25′	89	
30′	89	**Stillstand**
35′	87	**Anfang des Zurückkehrens in die normale Lage**
40′	85	
45′	82	
50′	79	
usw.		

Ich gebe den Gang dieser Reaktion auch als Kurve an (Kurve I). Je 1 mm der Abszisse bezeichnet 1 Minute; je 2 mm der Ordinate 1 Mikrometerteil [1]); die Punkte geben die festgestellten Momente des Reaktionsverlaufes, die oben in Zahlen angegeben



Kurve I.
Aeroidotropische Reaktion eines *Helianthus*-Sprosses bei Einwirkung eines CO_2-Stromes I. O. ($^1/_2$ Orig. Größe).

1) Obwohl im Druck einige Kurven verkleinert werden mußten, gebe ich doch das oben stehende Verhältnis und dabei bei den Kurven selbst ev. die Verkleinerung an, da in dieser Weise das Vergleichen der Kurven am einfachsten geschehen kann.

sind. Die Zukrümmung ist von der Abszisse nach unten; die Wegkrümmung nach oben dargestellt.

Bei diesem Versuche sehen wir zuerst eine Zukrümmung, die 25 Min. dauert, dann kommt ein Moment des Stillstandes, und nun erst fängt eine Wegkrümmung an. Von hier an zeigt der Reaktionsverlauf den Charakter der allen Versuchen bei jeder, auch bei höherer Stromintensität, eigen ist. — Die Bewegung geht zuerst langsam, dann immer und immer schneller vor sich, bis sie ihr Maximum erreicht. Nach dem Abstellen des Stromes dauert sie als Nachwirkung fort. Eine weitere Beschleunigung läßt sich bei dem Eintreten der Nachwirkung nicht verfolgen: es tritt eine Verlangsamung der Bewegung ein, dann der Stillstand, der 5 bis 10 Min. dauert; nach dem Stillstand fängt das Zurückkehren des Sprosses in die normale Lage an.

Bald nach dem Anfange der Reaktion, (hier z. B. bei Beginn der Wegkrümmung zwischen 11 h und 11 h 10'), kann man öfters eine kleine erste Beschleunigung bemerken (s. auch später den Gang der geotropischen Reaktion, Kap. 11), die aber schnell vorübergeht, und der erst etwas später die große Beschleunigung folgt, die zu dem Maximum der Reaktionsintensität führt.

Möglicherweise ist diese erste Beschleunigung dadurch zu erklären, daß der Autotropismus (der später, so weit die Reaktion die Pflanze aus der normalen Lage bringt, zum Ausdruck kommt) während der ersten Minuten der Reaktion noch nicht entgegenarbeitet. Hier wird also die Beschleunigung passiv, durch Nichthemmung möglich, während die zweite Phase der Beschleunigung, später, durch die große Energie der Reaktion selbst die Hemmungen überwindet, also aktiv hervorgerufen wird.

Die Perioden des Stillstandes wiederholten sich unfehlbar bei allen von mir beobachteten Reaktionen. Immer, wenn ein Umschlag der Bewegung eintrat, war eine mehr oder weniger kurze Stillstandsperiode zu verzeichnen.

Die Ausgleichung der Reaktionsbewegung geht gewöhnlich langsamer vor sich als die Reaktionsbewegung.

Den nächstfolgenden Versuch werde ich in etwas größeren Perioden zusammenfassen, da das allgemeine Bild der Bewegung, ebenso wie die Art der Notizenführung, durch die erste Angabe illustriert und später noch öfters angegeben werden wird.

Versuch.

Der CO_2-Strom I. O. wurde um 10 h 15′ geöffnet.

5 Min. nach dem Öffnen des Stromes wurde der Anfang der Zukrümmung sichtbar.

Die Zukrümmung dauerte bis 10 h 50′, also 35 Min., und betrug 7 Mikrometerteile.

Von 10 h 50′ bis 10 h 55′ trat Stillstand ein. Dann begann eine Wegkrümmung, die mit der Durchschnittsschnelligkeit von 2 Teilen in je 5 Min. vor sich ging.

Um 11 h 30′, also nach einer Einwirkung von 1 St. 15 Min., wurde der Strom abgestellt.

Die Nachwirkung dauerte lange, von 11 h 30′ bis 12 h 40′, also 1 St. 10 Min. Es wurden während der Nachwirkung noch 12 Mikrometerteile zurückgelegt. Die Bewegung verlangsamte sich ganz bedeutend. Am Schluß trat Stillstand ein und darauf Rückkehr in die normale Lage. Die Krümmung im unteren Teile dieses Sprosses blieb nach dem völligen Aufrichten des oberen Teiles durch Wachstum oder richtiger durch Nichtmehrwachsenkönnen fixiert (s. später S. 74)[1]).

Um mir bestimmte Rechenschaft darüber ablegen zu können, ob die Zukrümmungen, die ich bei diesen und anderen, ähnlichen Versuchen beobachtet habe, als eine Reaktion für sich, und nicht nur als das erste Stadium der negativen aeroïdotropischen Reaktion aufzufassen sind, habe ich Versuche ausgeführt, bei denen der Strom abgestellt wurde, sobald die Zubewegung sich ausprägte. Es sollte verfolgt werden, ob diese Bewegung dann von selbst in eine entgegengesetzte umschlagen oder ob nur die positive Reaktion eintreten würde.

1) S. auch Jost, Pfl.-Phys., 1908, S. 569 (Fixieren der Reaktionskrümmung bei heliotropischen Reaktionen).

Es hat sich ergeben, daß in diesen Fällen nur die positive Krümmung ausgeführt wird, die keine solche Schärfe und Größe erreicht, wie die negativen Krümmungen zeigen können, aber immerhin in den letzten Stadien mit unbewaffnetem Auge als eine ausgesprochene positive Krümmung sichtbar ist. Ich gebe ein Beispiel an.

Versuch.

Um 11 h wurde der Strom geöffnet. Um 11 h 5′ begann die Zukrümmung und schritt langsam vor sich.

Um 11 h 20′ wurde der Strom abgestellt.

Die Zukrümmung dauerte als Nachwirkung noch eine ganze Stunde. Der Sproß durchlief nach dem Abstellen des Stromes um 11 h 20′ bis zum Stillstand um 12 h 20′ noch 10 Mikrometerteile.

Nach dem Stillstande folgte das Zurückkehren in die normale Lage.

Die ganze Bewegung ging langsamer vor sich als die Bewegungen bei negativen Reaktionen zu tun pflegen. Der Charakter der Bewegung war aber dem der negativen Krümmungen vollkommen entsprechend.

Die nächstfolgenden Beispiele geben Versuche mit Strömen II. Ordnung an. Es kam dabei von Anfang an eine negative Krümmung zustande.

Versuch.

Der Sproß wurde wie üblich zuerst auf Nutation und Wachstum untersucht[1]).

Ich will hier wieder die ganze Reihe der Notizen und auch die Kurve des Prozesses angeben.

Der Sproß befand sich zwischen der 60. und 50. Mikrometerteilstriche.

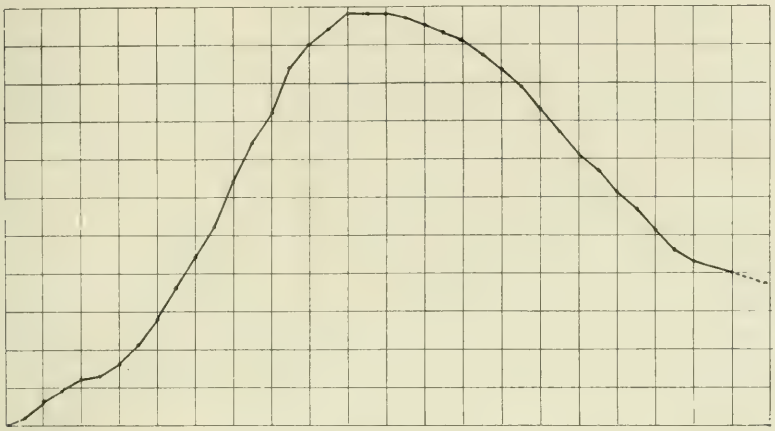
1) Das Wachstum war gut; es war keine Nutation in der Ebene der Beobachtung sichtbar.

Der Gang der Reaktion in Zahlen.

Zeit	Mikrometer-angaben	Bemerkungen.
4 h 25'	60—50	Strom von CO_2 II. O. geöffnet
30'	59	Anfang der **Weg**krümmung
35'	57	
40'	55,5	
45'	54	
50'	53,5	
55'	52	
5 h 00'	49,5	Der Anfang der Krümmung mit unbewaffnetem Auge sichtbar
05'	46	**Beschleunigung** der Bewegung
10'	42	
15'	38	Die Bewegung läßt sich im Mikroskop direkt beobachten
20'	34	
25'	28	**Der Strom abgestellt**
30'	23	**Nachwirkung**
35'	19	
40'	13	
45'	10	**Verlangsamung** tritt ein
50'	8	
55'	6	
6 h 00'	6	**Stillstand** während 10 Min.
05'	6	
10'	6,5	Anfang der **Zurück**bewegung.
15'	7	
20'	8	
25'	9	
30'	11	Beschleunigung der Zurückbewegung
35'	13	
40'	15	
45'	18	
50'	21	
55'	24	
7 h 00'	26	
05'	29	
10'	31	
15'	34	
20'	37	
25'	38,5	
35'	40	
	usw.	

Um 7 h 40' war die Periode des Zurückkehrens der Dauer der Wegkrümmung gleich. Der Sproß brauchte aber noch Zeit, um die Krümmung ganz auszugleichen. Also ging die Rückbewegung, welche die Pflanze in die normale Lage zurückbrachte, im ganzen langsamer vonstatten als die Reaktionsbewegung.

Alle Perioden der Bewegung sind an der Kurve dieses Versuches deutlich zu verfolgen (Kurve II).



Kurve II.
Aeroidotropische Reaktion eines *Helianthus*-Sprosses bei Einwirkung eines CO_2-Stromes II. O. ($^1/_2$ Orig. Größe).

Im nächstfolgenden Versuche ist ein Beispiel dafür gegeben, daß ein an Stelle des CO_2-Stromes durchgeleiteter Luftstrom das Zurückkehren des Sprosses weder verhindert noch hemmt.

Versuch.

Nach 25 Min. Vorbeobachtung wurde um 11 h 5' der CO_2-Strom II. O. geöffnet. Um 11 h 10' wurde der Anfang der Wegkrümmung im Mikroskope sichtbar. Um 11 h 45' wurde die Wegkrümmung ausgeprägt (45° von der Vertikale).

Der CO_2-Strom wurde abgestellt. Dabei wurde jedoch das Tonrohr nicht wie sonst von dem Sprosse entfernt, sondern in 2 mm Abstand von diesem gelassen, und es wurde ein Luftstrom unter

einem Überdrucke (von demselben Feuchtigkeitsgrade wie der CO_2-Strom) durch das Tonrohr geleitet.

Nur bis 12 Uhr dauerte diesmal die Nachwirkung (also $^1/_4$ Stunde).

Um 12 h 5′ begann die Zurückbewegung des Sprosses, die mit großer Schnelligkeit vor sich ging.

Die Wegkrümmung dauerte von 11 h 10′ bis 12 h, also 50 Min., die Rückbewegung legte denselben Weg von 12 h 5′ bis 12 h 35′, also in 30 Min., zurück.

Um 12 h 40′ wurde der Luftstrom abgestellt. In seiner Schnelligkeit hatte der Stengel die Vertikale überschritten, und noch 3 Mikrometerteile nach dem Rohre hin zurückgelegt; dann kehrte er endgültig in die normale Lage zurück.

Ohne einstweilen die Vermutung zu diskutieren, daß der Luftstrom die Nachwirkung verkürzen oder die Rückbewegung beschleunigen konnte, will ich in diesem Versuche nur darauf aufmerksam machen, daß der Luftstrom in keinem Falle die Zurückbewegung verhindert hat, daß also eine lediglich mechanische oder hydrotropische Einwirkung des Stromes, wie schon früher angedeutet war, und wie sich noch an vielen anderen Stellen bestätigen wird, nicht stattfand.

Ströme II. O. habe ich auch hauptsächlich gebraucht, um die aeroïdotropische Reaktionsfähigkeit bei einigen anderen dikotylen Keimlingen zu untersuchen. Es kam mir dabei insbesondere darauf an, gute, mit unbewaffnetem Auge als ausgeprägt sichtbare Krümmungen zu erzielen. Im vierten Kapitel habe ich schon erwähnt, welche Pflanzen sich dabei als aeroïdotropisch gegen CO_2 erwiesen haben, nämlich *Brassica Napus* und *B. rapa*, *Sinapis alba*, *Vicia sativa* und *V. faba*, *Lupinus albus* und *Phaseolus multiflorus*.

Der Charakter der Reaktion blieb bei allen untersuchten Sprossen in den Hauptzügen dem bei *Helianthus* gleich.

Es ist jedoch möglich, daß bei näherer Untersuchung jeder einzelnen Spezies einige Eigentümlichkeiten des Verhaltens zum Vorschein kommen würden. So habe ich bei dem CO_2-Strome II. O., der, wie gesagt, bei den Versuchen mit *Helianthus* von Anfang an eine negative Krümmung als Reaktion hervorruft, bei einigen

anderen Pflanzen, z. B. bei einigen Exemplaren von *Brassica* und *Lepidium* (nicht bei allen), zuerst positive Krümmungen beobachtet, die erst bei weiterer Einwirkungsdauer in die negativen übergingen.

Es ist im allgemeinen nicht unwahrscheinlich, daß die Reizschwelle für das negative Verhalten zu CO_2 bei verschiedenen Pflanzen verschieden ausfallen muß. Es ist aber zu beachten, daß dabei auch einige von dem Reizanlasse und der Empfindlichkeit der Pflanze unabhängige Faktoren, z. B. die Dünne des Stengels, sein anatomischer Bau und andere Eigentümlichkeiten mitspielen, also die Reaktionsfähigkeit beeinflussen.

Als Beispiel einer zuerst positiven, dann negativen Reaktion kann folgender Versuch mit *Lepidium sativum* dienen.

Versuch.

Die Voruntersuchung zeigt Wachstum und keine Nutation in der Ebene der Beobachtung.

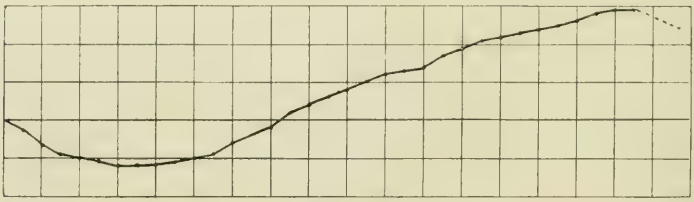
Der Sproß befindet sich zwischen dem 50. und dem 47. Mikrometerteilstrich.

Gang der Reaktion in Zahlen.

Zeit	Mikrometerangaben	Bemerkungen
4 h 15′	50—47	Strom II. O. von CO_2 geöffnet
20′	51	Anfang einer **Zu**krümmung
25′	53	
30′	54,5	
35′	55	
40′	55,5	
45′	56	
50′	56	**Stillstand** während 10 Min.
55′	56	
5 h 00′	55,5	Es fängt die **Weg**krümmung an
05′	55	
10′	54,5	
15′	53	
20′	52	
25′	51	
30′	49	

Zeit	Mikrometer-angaben	Bemerkungen.
5 h 35′	48	Die negative Krümmung ist deutlich mit unbewaffnetem Auge sichtbar
40′	47	
45′	46	
50′	45	
55′	44	
6 h 00′	43	Der Strom **abgestellt**
05′	42,5	**Nachwirkung**
10′	41	
15′	40	
20′	39	
25′	38,5	
30′	38	
35′	37,5	
40′	37	
45′	36,5	
50′	35,5	
55′	35	Stillstand
7 h 00′	35	

Um 7 h 5′ fing das Zurückkehren des Sprosses in die normale Lage an (Kurve III).



Kurve III.

Aeroidotropische Reaktion eines *Lepidium*-Sprosses bei Einwirkung eines CO_2-Stromes II. O. ($^1/_2$ Orig. Größe).

Ich gebe noch ein Beispiel eines Versuches, bei dem 2 Exemplare von *Brassica* auf einmal geprüft wurden. Das eine von ihnen hat zuerst eine ganz kleine positive Krümmung, dann eine negative, das zweite von Anfang an eine negative Reaktion ausgeführt.

Versuch.

Die Hauptmomente des Versuches waren die folgenden:

Zeit	Spross I	Spross II
10 h 15′	Strom H. O. von CO_2 geöffnet	
10 h 25′	Eine Bewegung **zu** dem Rohre hin sichtbar	Eine **Weg**krümmung angefangen
11 h 00′	Die **Zu**krümmung ist in eine **Weg**krümmung umgeschlagen	Die **Weg**krümmung dauert fort
11 h 25′	Die beiden Sprosse entfernen sich von dem Diffusionsrohre Der Strom **abgestellt.** Es fängt die **Nachwirkung** an	
11 h 40′	Die Reaktionsbewegung + Nachwirkung zeigt **in beiden Fällen gute, mit unbewaffnetem Auge, also ausgeprägt sichtbare negativ aeroïdotropische Krümmungen**	
11 h 55′	I: Die **Nachwirkung dauert noch fort**	II: **Steht still**
12 h 00′	**Steht still**	do.
12 h 05′	do.	Das Aufrichten **fängt an**
12 h 05′	Die **beiden** Sprosse **richten sich auf.**	

Der Stillstand dauerte bei den beiden Sprossen 10 Min. Das Aufrichten des I. Sprosses fing etwas später an als das des II.

Um die Betrachtung des Reaktionsverlaufes im allgemeinen zum Abschluß zu bringen, werde ich noch die Wirkungen stärkerer CO_2-Ströme erwähnen, soweit sie etwas Eigentümliches bieten.

Für das Studium der Einwirkung stärkerer Ströme habe ich gewöhnlich offene Glasröhren im Apparate gebraucht. Das Gas diffundierte also direkt aus der Öffnung des Glasrohres, ohne das Tonrohr zu passieren.

Die minimalen Schwankungen des Druckes im Manometer zeigten, daß auch hier kein intermittierender, sondern ein dauernder Strom als Reizanlaß wirkte.

Jede Anhäufung von CO_2 in der Nähe der Pflanze wurde außer durch die üblichen Mittel auch durch ständiges Aussaugen mit einer Siphoneinrichtung verhindert.

Ströme, die 0,1—0,3 ccm in jeder Sekunde auf den Sproß einwirken ließen, zeigten noch keine schädigende Wirkung auf die Pflanze, wofür die ausgezeichnete Aufrichtung der Sprosse nach der vollzogenen Reaktion und ihr weiteres gesundes Wachstum bürgte. Es war bemerkenswert, daß die Reaktionshöhe, wenn sie einmal erreicht war, bei weiterer Verstärkung des Reizanlasses nicht weiter zu steigen vermochte. Es war also keine durchgängige Proportionalität zwischen Reizanlaßgröße und Reaktionsgröße aufzuweisen [1]).

Bei gutem Wachstum der Sprosse war der Anfang der Reaktion unter Einwirkung stärkerer Ströme im Mikroskope sofort zu konstatieren.

Das Mikroskop war hier hauptsächlich dazu nötig, um diese außerordentliche Kürze der Reaktionszeit festzustellen [2]). Weiter vollzog sich die Bewegung öfters mit so großer Schnelligkeit, daß die Sprosse nach kurzer Zeit der Einwirkung buchstäblich aus dem Mikrometerfelde davonliefen.

In der Phase der Beschleunigung der Bewegung konnte man dieselbe leicht mit unbewaffnetem Auge verfolgen.

Die starken Ströme vermochten auch schon induzierte Bewegungen, die nach der entgegengesetzten Seite gerichtet waren, im Laufe weniger Minuten zum Stillstand zu bringen und darauf in die konträre umschlagen zu lassen.

Als Beispiel dieser letzten Wirkung sei folgender Versuch mit *Helianthus* angeführt.

1) S. auch Fitting, H., „Untersuchungen über den geotropischen Reizvorgang". S. Abdr. aus den Jahrb. f. wiss. Botanik, Bd. XLI, 1905, S. 322. (Ich sage aber absichtlich an dieser Stelle „Reizanlaßgröße" und nicht wie Fitting sagt „Erregungsgröße).

2) Über die „Reaktionszeit" s. später, Kap. 11.

Versuch.

Gang der Reaktion in Zahlen.

Zeit		Mikrometer	Bemerkungen
5 h		28′	37	Strom III. O. geöffnet
	2′		
		30′	38	In 2 Min. 1 Mikrometerteil
	4′		
		34′	41	
	3′		
		37′	44	Der Strom **abgestellt**
	1′		
		38′	45	**Nachwirkung**
	4′		
		42′	49	
	3′		
		45′	51,5	
	3′		
		48′	54	
	3′		
		51′	56,9	Die Nachwirkung geht noch energisch vor sich.

Um 5 h 56′ wurde der Strom nach der entgegengesetzten Seite gerichtet. Nur 3 Min. dauerte noch die Nachwirkung als Bewegung zu dem Strome hin fort. Nach kurzem Stillstand, um 6 h 02′, fing zuerst schwach (0,5 Teil in 3 Min.) dann immer schneller die neu induzierte entgegengesetzte Bewegung an.

In dem folgenden Beispiel wurde durch CO_2-Einwirkung eine andere Reaktionsbewegung (durch Einwirkung von NH_3 induziert) überwunden. Als Objekt diente ein Sproß von *Helianthus*.

Versuch.

Der Sproß befindet sich unter der Glasglocke G (Fig. 2). Das Tonrohr ist entfernt; das Gas wirkt auf die Pflanze aus dem Rohre R_1. Die Öffnung des Rohres ist 5 mm von dem Sproß entfernt. Die Diffusion des Gases ist gleich 0,3 ccm CO_2 in 1 Sek.

Um 10 h 47′ wurde der Strom geöffnet. Sofort fängt die Wegkrümmung an. Der Sproß berührt den Mikrometerteilstrich 50; nach 3 Min. steht er auf 51, nach noch 3 Min. auf 54.

Das Rohr R_1 wird um 180° gedreht; die Diffusion erfolgt also von der entgegengesetzten Richtung. Sofort tritt eine Verlang-

samung der Bewegung, dann ein momentaner Stillstand und zuerst eine schwache, darauf eine deutliche Umkehrung der Bewegung ein. Um 11 h 06′ krümmt sich der Sproß in der neu induzierten Richtung von dem Diffusionsrohre weg.

Ich führe noch ein Beispiel mit *Vicia faba* an.

Die Einwirkungsdauern sind absichtlich kurz gewählt, da auch solche genügen, um das gewünschte Resultat zu erzielen und dabei erlauben zwei Reaktionen nacheinander auszuführen, ohne daß diese durch „Ermüdungserscheinungen" gestört würden [1]).

Versuch.

Die schon induzierte Bewegung ging folgendermaßen vor sich:

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
3 h 40′	46	
45′	45,5	
50′	44,8	
55′	44	Strom III. O. von CO_2 der Bewegung entgegengerichtet **geöffnet**
4 h 00′	44	**Sofort Stillstand**
05′	45	**Umschlag** der Bewegung
10′	46,5	Krümmung von dem Strome **weg**
	usw.	

Ich gebe jetzt einen Versuch an, der die Intensität der Reaktion im ganzen illustriert.

Versuch.

Ein *Helianthus*-Spross wurde in 5 mm Abstand von dem Rohre R_1 aufgestellt.

In diesen Fällen habe ich kein Zuschieben des Rohres bei der Wegkrümmung des Sprosses ausgeführt. Also dauert die Einwirkung in vollem Maße nur 5—10 Min., solange der Sproß noch nicht sehr weit von dem Rohre weggekrümmt wird. Es wurde ein

1) S. auch S. 69—70.

CO_2-Strom geöffnet, der 0,1 ccm in 1 Sek. auf die Pflanze einwirken ließ.

In einer Stunde hat die Spitze des Sprosses einen Bogen von ungefähr 120° ausgeführt.

Beim Ausgleichen der Reaktion hatte die Spitze eine starke S-Krümmung des Sprosses durch Überschreitung der Vertikale verursacht, welche indessen dank gutem Wachstum allmählich ausgeglichen wurde. —

Noch ein Beispiel der Reaktionsintensität bei stärkerer Einwirkung.

Versuch.

Diesmal erfolgte die Diffusion der CO_2 wieder durch das Tonrohr. Es wurde aber ein ungefähr 10mal so starker Strom als bei der Einwirkung des Stromes I. Ordnung angewendet.

Als Versuchsobjekt wurde ein Sproß von *Helianthus* gebraucht.

Nach dem Öffnen des Stromes fing sofort die Wegkrümmung an; die Beschleunigung brachte ihre Schnelligkeit bis auf etwa 1 mm in 1 Min.

Als der Sproß ungefähr einen rechten Winkel mit der normalen Lage gebildet hatte und sich immer weiter krümmte, habe ich das Tonrohr von unten aufgestellt, so daß die Diffusion der CO_2 die weitere Nachwirkung hemmen und erneutes Aufrichten bewirken mußte.

Das Tonrohr mußte einige Male weiter nach unten geschoben werden, da der Sproß, sich infolge der Nachwirkung, obwohl langsamer, doch immer noch tiefer krümmte. Nach 3 Stunden im ganzen aber war das Resultat wie folgt: die Nachwirkung war überwunden und die Spitze des Sprosses bis zu 6 cm Abstand von dem Rohre gehoben.

Für diese Versuche wurden lange (9—11 cm) etiolierte (wie immer) und besonders gut wachsende Sprosse gebraucht. Die dickeren, biegungsfesteren Stengel konnten eine solche Reaktionshöhe nicht erreichen. Aus diesen Versuchen soll auch nicht entnommen werden, daß ein und derselbe Sproß für zwei oder mehrere Versuche nacheinander ohne weiteres verwendbar wäre. Das erlauben

nur die ausnahmsweise gut wachsenden Sprosse; und auch bei diesen fällt die zweite Reaktion gewöhnlich schwächer aus als die erste. Weitere Reizung durch starke Ströme kann eine Verlangsamung, sogar ein Einstellen des Wachstums herbeiführen.

Es wäre von großem Interesse zu erforschen, wie weit diese „Abschwächungserscheinungen" gehen, und ob vielleicht die Wirkungen verschiedenartiger Reize einander weniger beeinträchtigen, als dies bei den Wirkungen gleichartiger Reize geschieht.

Die bestimmte Orientierung der Krümmung gegen die Einwirkung des Reizanlasses und die Möglichkeit, einige aufeinander folgende Umkehrungen der Bewegung durch Veränderung der Einwirkungsrichtung herbeizuführen, zeigen, daß wir es bei CO_2 mit einem orientierenden Reiz zu tun haben, und nicht etwa, wie auch später nochmals gezeigt werden wird[1]), mit einem nur die Nutation verstärkenden oder einem umstimmenden Reize, wie es z. B. bei der Veränderung der Wachstumsrichtung der Keimlinge durch Leuchtgas der Fall ist[2]).

Gerade hier, bei den Einwirkungen der Gasströme aus offenem Rohre, kann aber wieder der Zweifel kommen, ob nicht vielleicht die hervorgerufenen Krümmungen, wenn nicht ganz, so doch teilweise entweder von hydrotropischen Differenzen, die durch die Strömung selbst hervorgerufen werden, oder von der mechanischen Einwirkung des starken Stromes abhängig sein konnten. (Für die Wurzeln sind diese beiden Möglichkeiten, wie schon erwähnt, durch Sammets Versuche mit Windflügeln beseitigt).

Um diese Möglichkeiten zu prüfen, habe ich auch hier Kontrollversuche mit Luftströmen desselben Feuchtigkeitgrades und derselben oder größeren Schnelligkeit ausgeführt.

Fürs erste habe ich dabei feststellen können, daß Luftströme entsprechender Stärke, die an Stelle des CO_2-Stromes aus dem offenen

1) S. Gramineen, Kap. 7.

2) Neljubow, D., „Über die horizontale Nutation der Stengel von Pisum sativum und einigen anderen Pflanzen". Beih. z. Bot. Zentr., Bd. X, 1901.
S. auch Noll, F., „Über heterogene Induktion", 1892.

Rohre auf die Pflanze geleitet wurden, weder die angefangenen Krümmungen beschleunigen, noch auf ihre autotropische Ausgleichung hemmend wirken können.

Es konnten überhaupt die schon vorhandenen Bewegungen der Keimlinge, die sich dabei in normaler Luftatmosphäre befinden, durch Luftströme der benutzten Stärke weder abgestellt, noch verändert oder gehemmt werden.

Außerdem habe ich auch gut wachsende und keine Bewegungen zeigende Keimlinge der Einwirkung von Luftströmen von der Stärke der Ströme III. O. und noch größerer Stärke ausgesetzt. Sogar bei mehrere Stunden dauernder Einwirkung wurde unter beständiger mikroskopischer Beobachtung nur Wachstum, aber keine Krümmungen konstatiert.

Ich gebe Beispiele beider Verfahrungsweisen an.

Versuch.

An einem Keimlinge von *Vicia faba* wurde durch Einwirkung von CO_2 eine Wegbewegung induziert. Nach 20 Min. CO_2-Einwirkung wurde der CO_2-Strom durch einen Luftstrom aus offenem Glasrohre ersetzt. Die negative Krümmung dauerte noch 12 Min. als Nachwirkung fort. Dann begann das Aufrichten des Sprosses.

Nach ungefähr 50 Min. war der Sproß vollständig aufgerichtet.

Versuch.

Es wurde ein Luftstrom aus dem offenen Rohre auf einen gerade wachsenden *Helianthus*-Sproß geleitet.

Während der ersten 40 Min. wurde die Beobachtung alle 5 Min. ausgeführt: der Sproß zeigte eine volle Indifferenz zu dem Luftstrome.

Der Luftstrom wurde allmählich ganz erheblich verstärkt und bis zum nächsten Morgen offen gelassen.

Nach ungefähr 12 Stunden Lufteinwirkung war keine Krümmung, und überhaupt keine Veränderung im Verhalten des Sprosses sichtbar.

Diese und andere Versuche gleicher Art scheinen wiederum die Möglichkeit der hydrotropischen oder der mechanischen Einwirkung des Stromes sowie deren partielle Mitwirkung an den beobachteten aeroïdotropischen Reaktionskrümmungen vollkommen auszuschließen.

Daß bei diesen Reaktionskrümmungen nicht von einer Beschädigung der Pflanze die Rede sein kann, läßt sich aus dem ganzen Verlaufe der Reaktionen, aus den schnellen Ausgleichungen der ausgeführten Krümmungen nach dem Abstellen des Stromes und der Möglichkeit, die Bewegungsrichtung während des Versuches durch Veränderung der Einwirkungsrichtung umzukehren, mit Sicherheit entnehmen.

Auch nach den Angaben anderer Autoren, so von Chapin[1]), konnten die gebrauchten CO_2-Mengen in keinem Falle als schädigende aufgefaßt werden.

Die Beschädigungskrümmungen kommen gewöhnlich als starke ⊣ Krümmungen zustande, denen beim Abstellen der Einwirkung keine Ausgleichung und bei Verstärken des Reizanlasses nicht eine negative Krümmung, sondern der Tod folgt. Solche ⊣ Beschädigungskrümmungen konnte ich bei der Einwirkung von NH_3 beobachten (s. später Kap. 9). Als weitere Beispiele solcher Krümmungen können auch einige als chemotropisch bezeichnete ⊣ Krümmungen zu verschiedenen Stoffen angeführt werden, wobei eine höhere Konzentration dieser Stoffe oder längere Einwirkungsdauer gleichfalls zum Tode führten. So Krümmungen in den Versuchen von Sammet zu Aethylalkohol, Methylalkohol, Aetherwasser, Aceton, Essigsäure usw., bei denen in der dazu gehörigen Tabelle nach den Angaben: „gute" und „sehr gute" ⊣ Krümmungen unmittelbar die Angaben folgen: „sind krankhaft", „sind tot"[2]).

Dazu werden auch wahrscheinlich die von Newcombe und Rhodes beobachteten „positiven" Krümmungen zu phosphorsaurem Natron (Na_2HPO_4) gehören, aus denen diese Autoren auf die chemo-

1) Chapin, P., „Einfluß der Kohlensäure auf das Wachstum". Flora, Ergbd. zu 1902.

2) Sammet l. c., 1905, S. 25, 26.

tropische Reizbarkeit der Lupinenwurzeln schließen, da auch diesen Krümmungen bei den nächstfolgenden Konzentrationen der Tod der untersuchten Objekte folgte[1]). Diese Krümmungen sind von LILIENFELD in einer Arbeit, welche den wirklichen Chemotropismus der Wurzeln gut begründete, gleichfalls als Schädigungskrümmungen anerkannt worden[2]).

Solche Erscheinungen aber, die in den von mir angegebenen Beispielen durch CO_2-Einwirkung zustande kamen, wo nach dem Abstellen der Reizung die Pflanzen in die normale Lage zurückkehren, ohne dabei irgendwelche Wachstumsverzögerungen aufzuweisen, und wo auf die positiven Krümmungen bei Verstärkung der Reizintensität oder Verlängerung der Reizeinwirkungsdauer nicht der Tod der untersuchten Objekte, sondern negative Krümmungen folgen — müssen als normale aeroïdotropische Reaktionsbewegungen angesehen werden.

Diese Reaktionsbewegungen sind ausgesprochene Wachstumserscheinungen.

Jeder Versuch ohne Ausnahme gab mir einen Beleg dafür, daß ohne Wachstum jede aeroïdotropische Reaktion unterbleibt und daß, je intensiver das Wachstum ist, desto leichter die Reaktionsbewegung zustande gebracht wird.

Einige Versuche mit Tuschestrichen haben gezeigt, daß die Reaktion in der Zone des stärkeren Wachstums anfängt[3]).

Sie beginnt dabei gewöhnlich im oberen Teil des Sprosses und schreitet dann allmählich basalwärts weiter.

Eine Beschleunigung des Wachstums während der Reaktion wie es z. B. SACHS (s. später), NOLL[4]), LUXBURG[5]) für geotropische

1) NEWCOMBE, Fr. und RHODES, A., „Chemotropism of roots". Bot. Gaz., Vol. XXXVII, 1904.

2) LILIENFELD, M., „Über den Chemotropismus der Wurzel". Beih. z. Bot. Zentr., Bd. XIX, 1906. Vorl. Mitteil., Ber. d. D. Bot. Ges., Bd. XXIII, 1905.

3) Ich darf noch nicht sagen des „stärksten" Wachstums, da dazu eingehende Versuche speziell um dieser Frage willen nötig sind.

4) NOLL, F., „Beitrag zur Kenntnis der physikalischen Vorgänge, welche den Reizkrümmungen zugrunde liegen". Arb. d. B. Inst. Würzburg, Bd. III, 1888, S. 507.

5) LUXBURG, H., „Untersuchungen über den Wachstumsverlauf bei der geotropischen Bewegung". Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XLI, 1905.

Krümmungen verschiedener Pflanzen konstatiert haben, habe ich bei der Einwirkung von CO_2 beobachtet. Einmal ist in einem meiner Versuche sogar ein nicht wachsender *Kresse*-Keimling durch einen CO_2-Strom zum Wachstum und dadurch auch zur Wegkrümmung gebracht worden. Hier ist aber kein direkter Vergleich mit den Resultaten der erwähnten Autoren zulässig, da CO_2 an sich, abgesehen von ihrer orientierenden Reizwirkung, als stimulans auf das Wachstum wirken kann[1]).

Die autotropische Ausgleichung der ausgeführten Krümmungen ist dadurch charakteristisch, daß wieder die am schnellsten wachsenden Teile zuerst in die normale Lage zurückkehren. Dabei ergibt die Nachwirkung und die Zurückbewegung tieferer Teile auch für Aeroïdotropismus die ckarakteristischen S-Krümmungen, die von Sachs u. A. für Geotropismus beschrieben worden sind.

In den Fällen, wo das Wachstum während des Versuches selbst an tieferen Regionen abgestellt wird, kann die Krümmung nicht mehr ausgeglichen werden und bleibt dauernd fixiert.

Ich habe Fixierungen an *Helianthus*, *Phascolus* und *Brassica* in ausgesprochener Weise beobachtet.

Außer der Reizintensität, der Reizdauer und dem Wachstum sind für die Reaktion die Länge und Dicke des Keimlings von Bedeutung. Im allgemeinen stimmen meine Beobachtungen in dieser Beziehung mit den Resultaten von Sachs[2]) und Rothert[3]) für Geo- und Heliotropismus überein.

Wie weit die Empfindlichkeit der Pflanze bei der Reaktion mitspielt, ob sie überhaupt oder teilweise den Charakter der Reaktion bestimmt, wie es Rothert annimmt, läßt sich einstweilen, solange die Rolle anderer Faktoren noch nicht genügend differenziert

1) Chapin l. c., 1902, S. 2.

2) Sachs, J., „Vorlesungen über Pflanzenphysiologie", Leipzig 1882, S. 836—839.

„Gesammelte Abhandlungen über Pflanzenphysiologie". Leipzig 1893, Bd. II, S. 964—967.

3) Rothert, W., „Über Heliotropismus, 1896, l. c., S. 156, 173.

bleibt, nach meiner Meinung nicht feststellen. Im allgemeinen kann man in der großen Zahl der Fälle, bei denen das Ausbleiben der Reaktion als Resultat der nicht vorhandenen oder unterdrückten Empfindlichkeit gedeutet wird, mit ziemlicher Bestimmtheit behaupten, daß die Tatsache nichts mit der Empfindlichkeit der Pflanze zu tun hat, sondern in den mangelhaften Bedingungen für die Ausführung der Reaktionsbewegung ihre Erklärung finden muß.

Zum Schluß dieses Kapitels sei betont, daß alle ausgeführten Versuche die am Anfang des Kapitels ausgesprochene Verallgemeinerung bestätigen, nämlich daß der Charakter der Reaktion auch bei verschieden großen Reizeinwirkungen im allgemeinen derselbe bleibt.

Obschon aber der allgemeine Charakter derselbe bleibt, ist die Dauer und die Intensität der Reaktion von der Dauer und der Intensität der Reizwirkung abhängig; auch die Zeit der Nachwirkung wird entsprechend verlängert oder verkürzt.

Die Reaktionshöhe kann jedoch früher als das Maximum des noch als Reiz wirkenden Reizanlasses erreicht werden. Fitting hat dieses Verhalten für den Geotropismus in folgender Form ausgedrückt: „Die Reaktionshöhe tritt schon bei einer Erregung ein, die noch längst nicht der Erregungshöhe entspricht“[1]). Ich möchte hier den Ausdruck „Erregungshöhe“ vermeiden und das beobachtete Verhalten so formulieren: es besteht bei den beobachteten Erscheinungen des Aeroïdotropismus keine durchgehende Proportionalität zwischen dem Anwachsen der Reizanlaßgröße und dem Anwachsen der Reaktionshöhe.

Ehe wir feste Beziehungen zwischen allen diesen Größen aufstellen dürfen und dabei mechanische und physikalische Bedingungen der Reaktionsfähigkeit von den physiologischen streng scheiden können, ist noch große Arbeit nötig.

1) Fitting l. c., 1905, S. 322.

Siebentes Kapitel.

Verhalten der Gramineen zu CO_2.

Die Gramineen haben, wie schon erwähnt wurde, in meinen Versuchen ein von den untersuchten Dikotylen abweichendes Verhalten zu CO_2 gezeigt.

Ich habe *Hordeum vulgare, Triticum vulgare, Avena sativa* und *Secale cereale* untersucht und sie alle in verschiedenen Stadien der Entwicklung gegen die Diffusion von CO_2 indifferent gefunden.

Es muß hier allerdings beachtet werden, daß wir bei den Gramineenkeimlingen nicht Stengel, sondern gewöhnlich nur Blätter reizen. (Es ist damit aber nicht gesagt, daß die Blätter überhaupt nicht gegen CO_2-Einwirkung reagieren können. Ich habe bei einigen Dikotylen-Blättern entschiedene Reaktionen gegen CO_2 beobachtet, auf die ich aber in dieser Arbeit noch nicht genauer eingehen kann). Auch die Nutationen der Keimlinge konnten durch CO_2 nicht verstärkt werden.

Folgende Versuchsanordnungen und Versuchsbeispiele werden das Verhalten der Gramineen nach verschiedenen Seiten hin verdeutlichen.

Ich habe zuerst mit Keimlingen experimentiert, bei denen das erste Blatt den Kotyledo durchbrochen hat[1]).

Bei keinen Einwirkungsintensitäten konnte ich in diesem Stadium der Entwicklung eine Reaktion erzielen. Dabei konnte ich den Reiz auf die verschiedensten Teile des Keimlings einwirken lassen, auf die Spitze des ersten Blattes, auf seinen sichtbaren Unterteil, auf die Spitze des Kotyledo, auf den Unterteil des Kotyledo: die Ergebnisse blieben immer dieselben, so gut auch das Wachstum sein mochte.

Ich will einige Beispiele anführen, aus denen die Reizrichtung, die Reizintensität und die Reizdauer, die ich geprüft habe, ersichtlich sein werden.

1) Als „Kotyledo" bezeichne ich im Anschluß an Rotherts Wortgebrauch die Keimscheide der Gramineenkeimlinge.

Das Mikrometer wurde bei fast allen Versuchen auf die Spitze des Keimlings gerichtet, wobei das leiseste Abweichen von der Vertikale sofort sichtbar wurde. Ich gebe also zuerst Beispiele der Reizung der Gramineenkeimlinge, bei denen das erste Blatt den Kotyledo durchbrochen hat. Als Beispiele verschiedener Lokalisation des Reizes werde ich zwei Versuche mit *Hordeum* anführen.

Versuch.

Ein *Hordeum*-Keimling, 8,5 cm lang, wurde an 3 verschiedenen Stellen nach einander gereizt: a) an der Basis des Kotyledo; b) an dem Oberteile des Kotyledo und dem sichtbaren Unterteile des ersten Blattes; c) an der Spitze des ersten Blattes.

Bei fortwährend gutem Wachstum während der ganzen Zeit des Versuches zeigte der Keimling, wie vor dem Öffnen des CO_2-Stromes während der Voruntersuchung, so auch nach dem Anfange der Diffusion des Gases, weder eine Nutation noch eine Krümmung in der Ebene der Beobachtung.

Der Keimling befand sich zwischen dem 48. und 40. Mikrometerteilstrich.

Zahlenangaben.

	Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
a)	4 h 10′	48—40	Das Tonrohr in der Lage **a**. Strom II. O. geöffnet
	15′	Dasselbe	
	20′	Dasselbe	
	25′	Dasselbe	
	30′	Dasselbe	Während 20 Min. der Einwirkung keine Bewegung
b)	30′	Dasselbe	Das Tonrohr (durch die Handhabung der Röhren R_1, R_2) in die Lage **b** übergeführt
	35′	Dasselbe	
	40′	Dasselbe	
	45′	Dasselbe	
	50′	Dasselbe	Während weiterer 20 Min. keine Wirkung. Das Tonrohr in die Lage **c** übergeführt

	Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
c)	4 h 55′	Dasselbe	
	5 h 00′	Dasselbe	
		usw.	
	5 h 30′	Dasselbe	Nach 40 Min. keine Wirkung

1 St. 20. M. Einwirkung im ganzen blieb ohne jeglichen Erfolg. Das Wachstum war die ganze Zeit vorhanden.

Versuch.

In diesem Versuche wurde der obere Teil des Kotyledo vorsichtig abgetrennt, so daß der tiefere Teil des ersten Blattes zum Vorschein kam.

Nachdem der Keimling eine bestimmte Zeit nach der Operation in Ruhe gelassen war, wurde das Tonrohr an dem bloßgelegten jüngeren Teile des ersten Blattes aufgestellt.

Die Reizung mit dem CO_2-Strome II. O. dauerte 45 Min.; es wurde keine Wirkung beobachtet.

Auch während der nächstfolgenden 45 Min. wurde keine Nachwirkung sichtbar.

Es folgen Beispiele entsprechender und etwas modifizierter Versuche an *Triticum*-Keimlingen.

Versuch.

Das Tonrohr befindet sich in 2 mm Entfernung von der Spitze des ersten Blattes.

Das Wachstum ist, mittelst des Mikrometers gemessen, in je 5 Min. ungefähr gleich einem Mikrometerteil.

Der Keimling zeigt während der Voruntersuchung von 4 h 30′ bis 4 h 45′ keine Nutation in der Ebene der Beobachtung.

Zahlenangaben.

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
4 h 45′	50—48	CO_2-Strom II. O. **geöffnet**
50′	49	
55′	Dasselbe	
5 h 00′	Dasselbe	

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
5 h 05′	Dasselbe	
10′	Dasselbe	
15′	Dasselbe	Der Strom etwas **verstärkt**
20′	Dasselbe	
25′	Dasselbe	Der Strom **abgestellt**

40 Min. Einwirkungsdauer blieben erfolglos. Es wurde außerdem auch keine Nachwirkung beobachtet.

Versuch.

Das Tonrohr wurde an einem *Triticum*-Keimling ungefähr gegen die Mitte des sichtbaren Teiles des ersten Blattes aufgestellt. 40 Min. wurde die Pflanze durch den CO_2-Strom II. O., dann noch 10 Min. stärker gereizt. Der Keimling blieb indifferent.

Versuch.

In diesem Versuche wurde a) das Diffusionsrohr 3 mm über der Spitze des Keimlings aufgestellt und so gedreht, daß die Diffusion der CO_2 von oben auf den Keimling erfolgte.

Es sollte dabei untersucht werden, ob vielleicht das weitere Wachstum irgendwie beeinflußt werden würde.

Es wurde ein etwas stärkerer CO_2-Strom als der II. O. angewendet.

Während 50 Min. Einwirkungsdauer hat der Keimling nur auf 1 Mikrometerteil seine Lage verändert, dabei aber wuchs er ruhig weiter, und zwar in die stärkere Region des CO_2-Diffusiongefälles hinein.

Am Ende des Versuches war er bis zu unmittelbarer Nähe an das Diffusionsrohr herangewachsen.

Jetzt wurde b) das Tonrohr zu dem unteren Teile des Blattes übergeführt. Auch dadurch wurde weder die Lage des Keimlings, noch sein Wachstum beeinflußt.

Ohne sonst etwas zu verändern, wurde c) als Kontrollobjekt an Stelle des *Triticum*-Keimlings ein Sproß von *Helianthus* auf-

gestellt: es fing sofort eine negative Reaktion an. In den ersten 10 Min. hat er etwas mehr als 3 Mikrometerteile durchlaufen. Da er aber der Versuchsanordnung gemäß diesmal keiner Voruntersuchung im Apparate unterworfen werden konnte, so ließ ich mich dadurch nicht zufriedenstellen, sondern ließ den Strom weiter einwirken, um die angefangene Bewegung mit voller Bestimmtheit als Reaktionsbewegung ansprechen zu dürfen. Die Bewegung dauerte ununterbrochen fort. Nach 35 Min. Einwirkung war die negative Reaktionskrümmung mit unbewaffnetem Auge ausgeprägt sichtbar.

Auch Keimlinge von *Avena sativa* zeigten dasselbe Verhalten wie *Hordeum* und *Triticum*.

Versuch.

Die Vorbeobachtung zeigte von Zeit zu Zeit eine nicht beständige leichte Bewegung in der Richtung zu dem Rohre.

Das Tonrohr wurde an der Basis des Keimlings aufgestellt.

Zahlenangaben.

	Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
a)	5 h 50′	40,5	
	55′	Dasselbe	Strom II. O. **geöffnet**
	6 h 00′	40	Noch eine leichte Bewegung nach dem Rohre hin
	05′	Dasselbe	
	10′	Dasselbe	
	15′	Dasselbe	Das Tonrohr zu der Spitze des Keimlings **gehoben**
b)	20′	Dasselbe usw.	
	6 h 50′	Dasselbe	Strom **abgestellt**

Also 1 Stunde 5′ Einwirkungsdauer blieb ohne Erfolg, es wurde auch keine Nachwirkung beobachtet.

Ich führe noch einen Versuch mit einem Exemplar von *Secale* an, wo das erste Blatt gerade vor dem Versuche den Kotyledo durchbrochen hatte. In diesem Falle steht also das Tonrohr zu

gleicher Zeit vor dem ganzen sichtbaren Teile des ersten Blattes und vor der Spitze des Kotyledo.

Versuch.

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen.
4 h 20'	55—61	Es dauert noch die Vorbeobachtung
25'	55,5	Eine leichte Bewegung in der Richtung von dem Rohre
30'	Dasselbe	Strom II. O. **geöffnet**
35'	56	Noch eine leichte Bewegung in derselben Richtung
40'	Dasselbe	
45'	Dasselbe	
50'	Dasselbe	

Keine Reaktion, auch keine Verstärkung der Nutation sichtbar. Das Wachstum dabei ausgezeichnet.

Ströme I. O. von CO_2 (also die schwächeren) riefen bei einer Einwirkungsdauer von mehr als 2 Stunden keine Reaktionen hervor.

Dasselbe zeigte sich bei stärkeren Strömen, wobei die CO_2 aus dem offenen Glasrohre auf die Pflanze einwirkte. Eine Einwirkungsdauer von mehr als 30 Min. führte zu keiner Wirkung.

In den Stadien des Hervortretens und der weiteren Entwicklung des ersten Blattes blieben also die untersuchten Gramineenkeimlinge gegen Einwirkungen verschiedener Intensität von CO_2 vollständig indifferent.

Wie bekannt hat aber ROTHERT nachgewiesen, daß die heliotropische Empfindlichkeit nur dem Kotyledo zukommt und dessen Reaktionsfähigkeit nur so lange dauert, bis das erste Blatt noch nicht erschienen ist[1]).

Im Anschluß an diese Untersuchungen von ROTHERT habe ich auf die Prüfung der entsprechenden Stadien der Gramineenentwicklung auf die Einwirkung von CO_2 besondere Aufmerksamkeit gerichtet.

1) ROTHERT l. c., 1896, S. 71 u. a.

Ich habe zahlreiche Keimlinge untersucht, bei denen die Entwicklung des Kotyledo verschiedene Stadien vor dem Durchbrechen des Kotyledo durch das erste Blatt zeigte. Ich habe ganz junge Keimlinge benutzt, deren Kotyledo noch halb hohl beim durchgehenden Licht erschien und solche, bei denen das erste Blatt schon fast den ganzen Kotyledoraum ausfüllte.

Auch hier werde ich einige Beispiele anführen.

Alle folgenden Versuche betreffen demnach Gramineenkeimlinge, deren Kotyledo durch das erste Blatt noch nicht durchbrochen war.

Versuch.

Es wurde ein ganz kleiner, 1 cm langer Keimling von *Secale* gebraucht. (Nach ROTHERT ist der ganz jungen Kotyledo schon reaktionsfähig).

Von 9 h 13′ bis 9 h 30′ wurde bei Einwirkung des Stromes II. O. keine Reaktion ausgelöst.

Das Wachstum ging die ganze Zeit hindurch vor sich.

Versuch.

Ein etwas größerer Keimlig von *Secale*

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
8 h 55′	55	Strom II. O. geöffnet
9 h 00′	Dasselbe	
05′	Dasselbe	
10′	Dasselbe	
	usw.	

Im nächstfolgenden Beispiele wird eine leichte Nutation sichtbar, aber keine Reaktionsbewegung.

Versuch.

Der Kotyledo ist noch nicht durchbrochen, scheint aber ganz ausgefüllt.

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
4 h 53′	72	Strom II. O. geöffnet
5 h 00′	71,5	Eine leichte Bewegung in der Richtung **zu** dem Rohre
05′	Dasselbe	
10′	72	Eine leichte Bewegung in der Richtung **von** dem Rohre
15′	72,5	
20′	Dasselbe	
5 h 25′	73	
30′	Dasselbe	
35′	Dasselbe	Das erste Blatt hat den Cotyledo **durchbrochen.**

Während 42 Min. der Einwirkung wurde nur eine leichte Nutation in zwei Richtungen, aber keine Reaktion sichtbar.

Ich gebe noch zwei Beispiele mit *Triticum* an.

Versuch.

Der Kotyledo erscheint noch als eine halb hohle geschlossene Scheide.

Der Keimling wächst, zeigt aber keine Nutation in der Ebene der Beobachtung.

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
8 h 00′	55—60	Strom II. O. **geöffnet**
05′	Dasselbe	
10′	Dasselbe	
15′	Dasselbe	
20′	Dasselbe	
30′	Dasselbe	

Versuch.

Der Keimling ist 3 cm hoch, der Kotyledo noch halb hohl.

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
8 h 40′	30	Strom etwas **stärker** als der II. O. **geöffnet**
45′	29	Eine Bewegung nach dem Rohre hin
50′	Dasselbe	
55′	Dasselbe	

Es wurde auch durch stärkere Diffusion keine Reaktion ausgelöst.

Ich gebe noch ein Beispiel und zwar der Einwirkung eines Stromes III. O. aus offenem Glasrohre.

Versuch.

Der Keimling ist 5 cm hoch, das erste Blatt aber noch nicht erschienen.

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
11 h 20′	30—34	Es dauert noch die Vorbeobachtung
25′	30,5	Bewegung in der Richtung **von** dem Rohre
30′	30,9	Strom III. O. **geöffnet**
35′	30	Eine Bewegung **zu** dem Rohre hin
40′	Dasselbe	
45′	Dasselbe	
50′	Dasselbe	

Also löste auch der Strom III. O. keine Reaktion aus.

Nur ein einziges Mal konnte ich an einem *Triticum*-Keimlinge eine Bewegung beobachten, die den Schein einer reagierenden Bewegung besaß. Ich führe auch diesen Ausnahme-Versuch an.

Versuch.

Die Vorbeobachtung ergab eine leichte Nutation.

Das Tonrohr wurde in 2 mm Abstand von der Spitze des noch nicht durchbrochenen Kotyledo aufgestellt.

Es wurde dabei ein CO_2-Strom II. O. gebraucht und während des Versuches verstärkt. Der Versuch dauerte 1 Stunde 30 Min.

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
6 h 13′	30	Es dauert noch die **Vorbeobachtung**
15′	30,1	Schwache Bewegung in der Richtung **von** dem **Rohre**
20′	30,5	Strom II. O. **geöffnet**
25′	Dasselbe	
30′	Dasselbe	
35′	Dasselbe	
40′	Dasselbe	

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
6h 45'	Dasselbe	
50'	31	
55'	Dasselbe	Strom **verstärkt.** Diffusion immer durch das Tonrohr.
7h 00'	31,5	
05'	32	
10'	33	
15'	33,2	
20'	34	
25'	35	
35'	35,5	
40'	36	
45'	Dasselbe	
50'	Dasselbe	

Die Bewegung ging nicht weiter.

Im Vergleich zu vielen Versuchen derselben und höherer Diffusionsstärke, die durchweg eine Indifferenz der Keimlinge gegen CO_2 zeigten, und in Anbetracht dessen, daß diese reaktionsähnliche Bewegung nur eine minimale Größe (nur 5 Teile während 45 Min.) erreicht hatte, und dabei sich nicht dauernd erwies, scheint es viel wahrscheinlicher, daß sie durch irgend welchen anderen äußeren oder inneren Grund bedingt war, und nicht als eine Reaktion auf CO_2-Einwirkung aufzufassen ist.

Auch die durch irgend welche andere Reize (so z. B. durch Heliotropismus) induzierten Bewegungen konnten durch CO_2-Ströme weder gehemmt noch verändert werden.

Ich führe zwei Beispiele dieses Verfahrens an: eines mit *Triticum* und ein zweites mit *Hordeum*.

Versuch.

Ein *Triticum*-Keimling mit noch teilweise hohlem Kotyledo zeigte eine Bewegung in der Richtung zu dem Tonrohre, welche mit einer Schnelligkeit von ungefähr 1 Teil alle 5 Min. vor sich ging. Es war ein gutes Wachstum vorhanden.

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
10h 35'	48	Bewegung zu dem Rohre. Strom II. O. geöffnet
40'	47	Dieselbe Bewegung dauert fort
45'	46,5	
55'	46	
11h 00'	45,2	
05'	43,5	Strom verstärkt
10'	43	

Es wurde durch die Einwirkung von CO_2 keine Veränderung in die schon vor dem Versuche begonnene leichte Bewegung zu dem Tonrohr hin hineingebracht.

Versuch.

Dieselben Verhältnisse zeigte ein *Hordeum*-Keimling, mit dem Unterschied, daß in diesem Versuch der Kotyledo während des Versuchs von dem ersten Blatt durchbrochen wurde. Dabei wurde, was die Ansicht ROTHERTS über die Reaktionsfähigkeit des Kotyledo vollkommen bestätigt, die früher induzierte und bis jetzt keineswegs durch CO_2-Einwirkung beeinflußte Bewegung sofort sistiert.

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
1h 35'	35	Vorbeobachtung
40'	34	Es geht, wie gesagt, eine Bewegung in der Richtung nach dem Rohre hin vor sich
45'	33	Strom II. O. geöffnet
50'	32	
55'	31	
2h 00'	30	
05'	28	
10'	26	
20'	25,5	
25'	25	
30'	24	
2h 35'	23	Kotyledo durchbrochen
40'	Dasselbe	
45'	Dasselbe	
50'	Dasselbe	

Die CO_2-Einwirkung konnte während 65 Minuten die Bewegung zu dem Rohre hin in keiner Weise beeinflussen.

Nachdem sich auch diese Stadien der Entwicklung der Gramineenkeimlinge vor dem Durchbrechen des Kotyledo durch das erste Blatt nicht weniger indifferent erwiesen hatten als die Stadien nach dem Erscheinen des ersten Blattes, versuchte ich noch spätere Stadien zu prüfen.

Längere Keimlinge von *Secale* und *Hordeum* (bis 16 cm lang), mit 2 ersten Blättern und gutem Wachstum zeigten gleichfalls keine Reaktionen, weder bei der Einwirkung von schwächeren noch von stärkeren Diffusionen. Dabei konnte auch die Einwirkungsdauer auf mehr als 1 Stunde verlängert werden, ohne daß eine Reaktion dadurch ausgelöst wurde.

Es konnte auch die Richtung des Diffusionsgefälles während des Versuchs gewechselt werden: so konnte das Tonrohr von der rechten Flanke des Keimlings auf die linke übergeführt werden, ohne daß dies auf das Verhalten der Keimlinge einen Einfluß ausübte.

In allen Versuchsreihen also, von denen einzelne Beispiele hier angeführt sind, zeigten die Keimlinge von *Secale, Hordeum, Triticum, Avena* von den ersten Entwicklungsstadien des Cotyledo an bis zum Auswachsen des 2. Blattes gegen Ströme I., II., III. und höherer Ordnung von CO_2, die bei *Helianthus* und anderen dikotylen Pflanzen schnelle und ausgesprochene Reaktionen hervorriefen, ein indifferentes Verhalten.

Es konnten dabei auch weder die Nutationsbewegungen merklich verstärkt, noch die früher induzierten Bewegungen der Keimlinge irgendwie beinflußt werden.

Die Frage, ob auch andere Gramineenarten ein ähnliches Verhalten zeigen oder sich als reaktionsfähig gegen CO_2 erweisen werden, fordert weitere Untersuchungen.

Achtes Kapitel.

CO_2-Einwirkung auf die Fruchtträger von *Phycomyces*.

Von den niederen Pflanzen habe ich *Phycomyces nitens* auf die Einwirkung von CO_2 geprüft.

Die Gründe für die Wahl von *Phycomyces* waren erstens, daß dieser Pilz im Gebiete der Reizerscheinungen überhaupt schon eine nicht geringe Rolle gespielt hat, und zweitens, daß gerade die Einwirkung von CO_2 auf ihn mehrmals, allerdings immer mit negativem Erfolg, geprüft worden ist.

Die Geschichte des *Phycomyces* in der Pflanzenphysiologie ist größtenteils bei Steyer[1]) erwähnt. Ich möchte hier nur auf die Arbeiten eingehen, die für mich unmittelbar ein theoretisches oder experimentelles Interesse hatten.

Wie gesagt ist *Phycomyces* auf sein Verhalten zu CO_2 mehrmals geprüft worden. So hat Elfving[2]) aus einem engen Rohre CO_2 auf eine Kultur von *Phycomyces* geleitet.

Alles was er darüber sagt ist: „*Phycomyces* n'éprouve pas la moindre influence, quant à sa direction, de l'acide carbonique, s'écoulant par un tube étroit placé au dessus d'une culture".

Im Jahre 1901 ist Steyer zu demselben Resultate gekommen, indem er durch einen schmalen Spalt in einer Gipsplatte CO_2 auf *Phycomyces* austreten ließ[3]).

Endlich, im Jahre 1905, hat Sammet bei der Versuchsanordnung nach Molisch *Phycomyces* als indifferent zu CO_2 bezeichnet[4]).

Das Mißlingen dieser Versuche läßt sich daraus erklären, daß die Untersuchungen mit Gasen, wie schon früher auseinandergesetzt war, viel mehr methodische Vorsichtsmaßnahmen fordern.

1) Steyer, K., „Reizkrümmungen bei *Phycomyces nitens*". Diss., Pegau 1901.

2) Elfving, M. F., „Sur une action directrice, qu'exercent certains corps sur les tubes sporangifères de Phycomyces nitens". Ann. de l'Inst. Pasteur, T. V, Paris 1891, S. 104.

3) Steyer l. c., 1901, S. 17.

4) Sammet l. c., 1905, S. 33.

Wie es in dieser Beziehung stand, darüber läßt die allerdings nur sehr flüchtig in den erwähnten Arbeiten berührte Methodik keinen Zweifel. Die ersten Stadien des Prozesses blieben, obgleich sie die entscheidenden sind, unbeachtet. Die schnelle Diffusion von CO_2 aus offenen Spalten oder Röhren ließ bald die notwendigen Differenzen zwischen dem Diffusionsstrom und der umgebenden Atmosphäre vollständig verschwinden und die Anhäufung von CO_2 die durch keine Vorsichtsmaßregeln verhindert wurde, brachte eine Beschädigung der Kultur und Einstellen des Wachstums mit sich. Daß diese Beschädigungen stattfanden, bestätigen z. B. folgende Worte von Steyer: es trat „mit zunehmendem Kohlensäuregehalt ein Verkümmern der Kulturen, aber keine Krümmung der Fruchtträger ein“ [1]).

Diese Versuche schienen mir deshalb nicht überzeugend zu sein; um so mehr, als eine sehr große Empfindlichkeit von *Phycomyces* gegen die verschiedensten anderen Reizquellen schon seit längerer Zeit festgestellt worden ist. So hat Massart die Unterschiedsschwelle von *Phycomyces* für Licht auf 1 : 1,18, also seine „constante proportionelle“ auf 1/5,5 gemessen, was im Vergleich zu einigen anderen Unterschiedsschwellen eine sehr hohe Stufe des „Unterscheidens“ anzeigt, wie dies auch aus der Vergleichungstabelle von Massart klar hervortritt [2]). Sogar die Mycelhyphen von *Phycomyces*, die Steyer im allgemeinen weniger empfindlich als die Fruchtträger gefunden hat [3]), bezeugten eine nicht geringe chemotropische Reizbarkeit für viele Stoffe, wie dies von Miyoshi bewiesen und auf der Tabelle III seiner Arbeit übersichtlich dargestellt worden ist [4]).

Man konnte demnach mit Wahrscheinlichkeit vermuten, daß

---

1) Steyer l. c., 1901, S. 17.

2) Jean Massart, „Recherches sur les organismes inférieurs“. I. „La loi de Weber verifiée pour l'héliotropisme d'un Champignon.“ Bull. Ac. roy. des Sc. de Belgique, 1888.

3) Steyer l. c., 1901, S. 28.

4) Miyoshi, M., „Über Chemotropismus der Pilze“. Bot. Ztg., 1894, S. 14—18.

auch die Empfindlichkeit gegen Gase bei *Phycomyces* nicht fehlen dürfte.

Es war aber ein ganz anderer Punkt in der Literatur über *Phycomyces*, der in hohem Maße die Aufmerksamkeit auf sich lenken mußte und die Untersuchung von *Phycomyces* als nicht einfach erscheinen ließ.

Das war die Kontroverse zwischen Elfving und Errera, die nach dem Geständnis beider Autoren selbst noch unentschieden geblieben ist.

In Kürze zusammengefaßt war der Sachverhalt folgender: Im Jahre 1890 war eine Schrift von Elfving erschienen „Über physiologische Fernwirkung einiger Körper“[1]), in der Elfving festgestellt hat, daß viele verschiedene Körper, z. B. Eisen und einige andere Metalle, sowie Seide, Holz usw., endlich auch lebende Sprosse verschiedener Pflanzen eine attraktive Wirkung auf die Fruchtträger von *Phycomyces* ausüben. Im Jahre 1892 wurde ein Vortrag von Errera in den „Annals of Botany“ gedruckt, in dem er die Erscheinungen, die von Elfving nicht näher definiert worden waren, als Erscheinungen des Hydrotropismus bezeichnete[2]).

Elfving hat seine Versuche wieder aufgenommen und im Jahre 1893 erschien eine neue Untersuchung von ihm unter dem Titel: „Zur Kenntnis der pflanzlichen Irritabilität“[3]). In ihr sind viele neue Tatsachen zusammegestellt, welche die ganze Frage sehr kompliziert erscheinen ließen. Unter anderem gelang es ihm, einige „inaktive“ Körper (z. B. Platin) durch Insolation, andere (z. B. Zink) durch Erwärmen zur „Aktivierung“ zu bringen, was ihm Anlaß gab,

---

1) In Commentationes variae in memoriam actorum CCL annorum, edidit Universitas Helsingforsiensis. Helsingfors 1890. Diese Arbeit wurde in Ann. de l'Inst. Pasteur 1891, l. c. französisch gedruckt.

2) Errera, L., „On the Cause of Physiological Action at a Distance“. Annales of Bot. 1892. (Vortrag, gehalten bei der Versammlung der „British Association for the Advancement of Science“ in Edinburg.)

3) Elfving, Fr., „Zur Kenntnis der pflanzlichen Irritabilität“. Öfversigt of Finska Vet. Soc. Förhandlingar 1893, H. XXXVI.

die Wirkung der ersteren als „dunkle Phosphoreszenz", die Wirkung der letzteren als „positiven Thermotropismus" zu bezeichnen[1]). Auch L. Errera hat seine Versuche in dieser Beziehung weitergeführt. Sie sind aber leider nicht mehr von ihm selbst gedruckt worden; erst im Jahre 1905, nach seinem Tode, sind sie in einer Zusammenstellung von Mr Commelin (Extrait 1906) erschienen[2]).

Wenn man diese Untersuchungen durchliest, soll man nicht vergessen, daß sie die Ergebnisse der Arbeit verschiedener Jahre in sich bergen. — Die §§ 1 bis 44 sind vor dem Erscheinen der zweiten Arbeit von Elfving geschrieben und es wäre unrichtig, wenn man die Worte, die am Schluß gedruckt stehen — „Dans les phenomènes intéressants découverts par Elfving l'agent inconnu, qui attire ou repousse, est tout simplement la vapeur d'eau"[3]) — einfach als die endgültige Meinung des Verfassers ansehen wollte, ohne die Note zu berücksichtigen, die nach dem Erscheinen der zweiten Arbeit von Elfving geschrieben worden ist. Diese Note stammt vom 9. September 1896 und besagt folgendes: „Les faits indiqués par Elfving dans son premier travail s'expliquent tous ou presque tous par l'hygroscopicité. Mais pour ceux de son second travail, je n'oserais être aussi affirmatif"[4]).

Im Februar 1905 schreibt er noch, obwohl er keinen Zweifel an den von ihm festgestellten und gewiß vollständig begründeten hydrotropischen Erscheinungen von *Phycomyces* hegt, daß spätere Versuche von Elfving weitere Untersuchungen fordern[5]).

Diese Bemerkungen legen ein klares Zeugnis dafür ab, daß Errera in keinem Fall die ganze Kompliziertheit der Erscheinungen übersehen hat.

---

1) Elfving l. c., 1893, Nach d. Sonderabdruck, S. 6, 8.

2) Errera, L., „Sur l'hygroscopicité comme cause de l'action physiologique à distance, découverte par Elfving". Recueil de l'Inst. bot. de Bruxelles, 1905. Extrait du Recueil, Bruxelles 1906.

3) Extrait: „Conclusions", 1906, S. 355.

4) Extrait: „Conclusions", 1906, S. 303.

5) Extrait: „Conclusions", 1906, S. 304.

Sehr wahrscheinlich ist es, daß an den Resultaten von Elfving in verschiedenen Fällen verschiedene Tropismen mitbeteiligt waren.

Die erwähnten Tatsachen, d. h. die unwiderleglich von Errera gezeigte große Empfindlichkeit von *Phycomyces* für eine Menge sowohl „chemisch" wie auch „physikalisch" hygroskopischer Körper und die noch unklaren Erscheinungen, die Elfving aufgewiesen hat, mahnten zu großer Vorsicht bei der Anstellung der Versuche mit *Phycomyces*. Es waren mindestens zwei Vorfragen zu entscheiden, ehe ich irgend welche Untersuchungen über Aeroïdotropismus von *Phycomyces* unternehmen konnte.

Die erste Frage ist, ob nicht die Teile des Apparates, in dem die Versuche ausgeführt werden mußten, irgend eine Wirkung auf *Phycomyces* ausüben konnten.

Die zweite Frage lautet, ob nicht die Einwirkung von CO_2, wenn eine solche sich zeigen sollte, als Resultat des Hydrotropismus aufgefaßt werden könnte.

Für die Entscheidung der ersten Frage kamen drei Substanzen in Betracht: Glas, Ton und Kautschukschläuche.

Glas war allerdings von den beiden Forschern untersucht und inaktiv gefunden worden[1]). Für mich aber waren die unmittelbar nach dem Anfang des Versuchs vermittels des Mikroskops aus zuführenden Beobachtungen wichtig.

Diese mikroskopischen Beobachtungen ergaben keine Wirkung weder des Glases noch des Tonrohres noch der Kautschukschläuche während der ersten Minuten und Stunden, in denen sich die Kultur im Apparat befand.

Da aber Errera die hydrotropischen Krümmungen nach 24 Stunden und Elfving die seinigen nach 5—6 Stunden beobachtet hatten, so habe ich Kontrollversuche auch mit diesen Perioden ausgeführt. Die Kulturen wurden 12 und 24 Stunden im Apparat stehen gelassen und dann wieder untersucht. In beiden Fällen blieben die Fruchtträger gerade und zeigten ein gutes Wachstum.

1) Elfving l. c., 1891; Errera l. c., 1906, S. 340.

Um das zweite Bedenken zu beseitigen, wurden Luftströme bei kleineren und größeren Überdrucken, um schwächere und stärkere Diffusionen herbeizuführen, durch das Tonrohr durchgeleitet. Die Atmosphäre unter der Glocke und Luft- oder Gasströme wurden wie immer gleich dampfgesättigt gehalten.

Die Lufströme blieben auf die Sporangienträger ohne Wirkung. Sobald aber der Luftstrom unter eben denselben Bedingungen durch einen CO_2-Strom ersetzt wurde, kamen die Krümmungen von *Phycomyces* zustande.

Bevor ich zu den Versuchen übergehe, seien noch einige Worte über die Methodik der Versuche gesagt.

Es wurden möglichst wenige Sporen mittelst eines sterilisierten Platindrahtes auf sterilisierte Halbbrötchen ausgesäet [1]). Jedes Brötchen befand sich auf einem kleinen runden Teller, auf dem später die Kultur in den Apparat übergeführt werden konnte. Sie wurden zuerst in großen Kristallisierschalen, die mit runden Glasplatten bedeckt wurden, im Dunkeln gezogen. Die zuerst erscheinende Generation, welche nur spärliches Wachstum zeigt, wurde steril abgeschnitten. Die zweite Generation wurde in dem letzten Stadium der großen Wachstumsperiode [2]), also nach der Bildung der Sporangien, auf die CO_2-Einwirkung untersucht.

Wie es in der ganzen Arbeit zumeist üblich war, wurde die Kultur einige Stunden vor dem Anfang des Versuches in den Apparat gestellt und jeder Versuch im Dunkelraume ausgeführt.

Ein KOH-Gefäß und der Abstand des Zylinders von der Schale, bei stärkeren Strömen überdies ein Aussaugen des Gases, verhinderten die Anhäufung von CO_2 in der Nähe der untersuchten Pflanzen.

---

1) Es sind wenige Sporen auszusäen, damit die Fäden später nicht zu dicht stehen, was die mikroskopische Beobachtung hemmt, und auch durch mögliche gegenseitige Abstoßung der Fäden, die Errera beobachtet hat (l. c. 1906, S. 314 f.), die Resultate trüben kann.

2) Errera, L., „Die große Wachstumsperiode bei den Fruchtträgern von Phycomyces". Bot. Ztg., 1884.

Es wurden auch hier einzelne Individuen untersucht, nachdem vorher ihre Wachstums- und Nutationsverhältnisse festgestellt worden waren.

Wieder erwiesen sich nur die wachsenden Fäden als reaktionsfähig. Dies war von verschiedenen Autoren für andere Reizerscheinungen festgestellt [1]; ich konnte es auch in diesem Falle nur bestätigen. Ohne Wachstum kamen keine Krümmungen zustande. Je intensiver das Wachstum war, desto deutlicher wurde die Reaktion.

Es war gleich, ob das Tonrohr sich gerade vor dem Köpfchen oder vor dem Stiele befand, die Reaktionsbewegung begann zuerst immer in der Wachstumszone, unweit von dem Köpfchen. In einem der folgenden Versuche hat die Krümmung 3 mm höher angefangen als das Tonrohr stand [2].

Mein Ziel bei der Untersuchung von *Phycomyces*-Fruchtträgern war einstweilen nur festzustellen, ob sie durch CO_2 aeroidotropisch reizbar sind.

Genauere Untersuchungen der Reizschwelle für die negativen Krümungen bei *Phycomyces* und der Intensität der Reizung für positive Reaktionen stehen noch bevor.

Ich habe hauptsächlich CO_2-Ströme II. O. als Reizanlässe gebraucht, und habe dabei nur negative Krümmungen beobachtet. Nur einmal, an zwei Exemplaren von *Phycomyces,* habe ich zuerst Zukrümmungen konstatiert. Diesmal war der einwirkende CO_2-Strom nicht II., sondern I. O., d. h. schwächer als gewöhnlich.

Ob dieser Fall ein positives Verhalten von *Phycomyces* zu schwächeren CO_2-Strömen anzeigte, darf ich einstweilen nicht entscheiden. Es kam mir bei Phycomyces vorläufig nur darauf an, die Empfindlichkeit gegen CO_2 im allgemeinen zu konstatieren, was ich am besten bei der Einwirkung von CO_2-Strömen II. O. erzielen

1) S. Steyer, Zusammenfassung, 1901, A. 2 u. 4, S. 29, S. 8.

2) Dies gegen Trzebínski, J., „Über den Einfluß verschiedener Reize auf das Wachstum von Phycomyces nitens". Extr. du Bull. de l'Acad. des Sc. de Cracovie. Cl. des Sc. mat. et nat., 1902, S. 123.

konnte. Die Einwirkung schwächerer Ströme auf Phycomyces bleiben also noch zu untersuchen. Für alle Fälle gebe ich auch den Versuch mit dem positiven Verhalten genau an.

Charakteristisch war die Art der Krümmungen. Noch von Errera [1]) war festgestellt worden, daß nur der obere Teil der Fruchtträger von *Phycomyces* wächst. Grade hier, unter dem Köpfchen, wurde die Krümmung in ihrem ersten Stadium ausgeführt.

Am eigentümlichsten war es, daß diese erste Krümmung ohne Ausnahme eine knieförmige Gestalt zeigte. Es schien, als ob die Fruchtträger an dieser Stelle plötzlich gebrochen wären.

Die Kniebildungen erinnerten an die knieförmigen Krümmungen der Grashalme. Sie erfolgten manchmal sehr schnell. Bei weiterem Einwirken des Gases trat zuerst eine Verstärkung der Knickung ein; allmählich wurde aber der Winkel ausgeglichen, indem der Fruchtträger aus dieser gebrochenen Stellung in eine Bogen-Stellung überging und sich dabei im ganzen von dem Tonrohre entfernte.

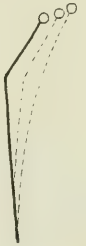


Fig 4. Einzelne Stadien der aeroïdotropischen Reaktionskrümmung bei *Phycomyces*.

Diese allmählichen Stadien der Krümmung lassen sich vielleicht nach dem angegebenen Schema leichter vorstellen (Fig. 4). Bei den meisten Autoren, die mit *Phycomyces* gearbeitet haben, habe ich über diesen charakteristischen Verlauf der Reaktion nicht irgend etwas finden können. Allerdings läßt sich dies daraus erklären, daß die ersten Stadien der Reaktion gewöhnlich unbeobachtet blieben, da alle Aufmerksamkeit auf die Endresultate nach längeren Zeitperioden gerichtet worden war. Der einzige, der aller Wahrscheinlichkeit nach dieselben Erscheinungen (bei den heliotropischen Krümmungen), beobachtet hat, ist Oltmanns [1]).

---

1) Errera l. c., 1884, S. 561.

2) Oltmanns, Fr., „Über positiven und negativen Heliotropismus". Flora, 1897.

Oltmanns hat heliotropische Krümmungen bei *Phycomyces* untersucht und spricht von „Knickungen", die „nahe unterhalb des Sporangiums" eintreten, „um späterhin basalwärts fortzuschreiten".

Die ausgeführten Knickungen habe ich mir gewöhnlich sofort aufgezeichnet. Eine der Aufzeichnungen, die das Bild der reagierenden *Phycomyces* vollständig angibt, gebe ich hier dem entsprechenden Versuche bei, der als eines der Beispiele angeführt wird. Die Verhältnisse zwischen der Länge und Breite der Mikrometerlinien und Mikrometerteilen auf der einen sowie der Dicke und Größe der *Phycomyces*-Stiele und *Phycomyces*-Köpfchen auf der anderen Seite sind genau gewahrt.

Ich werde hauptsächlich diejenigen Versuche als Beispiele anführen, bei denen ich den Prozeß im ganzen — also Latenzzeit, Reaktion, Nachwirkung und Zurückkehren in die normale Lage — beobachtet habe. Es sind von mir aber mehrere Versuche ausgeführt worden, bei denen es mir nur auf das Feststellen der Reaktion, also der negativen Krümmung ankam, und ich nur dies berücksichtigte, weil ich mir, wie gesagt, bei *Phycomyces* einstweilen nur die Frage im allgemeinen stellte, ob die Fruchtträger reagieren oder nicht reagieren. Die Einzelheiten sollten noch beiseite gelassen werden.

Bei der Dünne der *Phycomyces*-Stiele gab schon eine 1 Mikrometerteil große Ortsveränderung des Köpfchens eine mit unbewaffnetem Auge sichtbare Gestaltsveränderung an.

Versuch.

Nur 1 *Phycomyces*-Fruchtträger wird im Mikroskop fixiert.

9 h 40′ CO_2-Strom I. O. geöffnet
9 h 48′ Eine Kniebildung vollzogen
10 h 00′ Die Krümmung verstärkt
Der Strom abgestellt
10 h 05′ Stillstand. Die Nachwirkung ließ sich nicht in weiterer Bewegung, sondern nur im Stillstand beobachten

10 h 08′ Es fing die Aufrichtung an
10 h 26′ Der Fruchtträger ist wieder vollkommen geradegestreckt.

Versuch.

10 *Phycomyces*-Fruchtträger befinden sich in der Nähe des Tonrohres in 2 bis 5 mm Entfernung.

Ich habe, wie gewöhnlich, hauptsächlich den einen Fruchtträger im Mikroskop fixiert, der in seinem Wachstum und seinem Geradsein nichts zu wünschen übrig ließ.

Es wurden aber noch 2 im Mikroskop deutlich, die übrigen 7 weniger deutlich sichtbar.

a) Um 6 h 27′ wurde der CO_2-Strom II. O. geöffnet.

Um 6 h 32′, also nach 5′, war die Knickung an dem untersuchten Sporangienträger gebildet; ich sah jedoch, daß noch 7 Sporangienträger die Wegknickungen zeigten. (Nur 2 machten eine Ausnahme: der eine *a* zeigte eine Zuknickung nach dem Rohre hin, der andere *b* blieb unbeweglich [Fig. 5].)

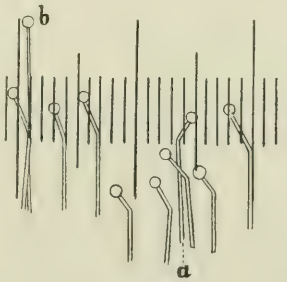


Fig. 5.
Aeroïdotropische Reaktionskrümmungen bei *Phycomyces*.

Bis 6 h 45′ habe ich den Strom im Gange gelassen: — die Krümmungen verstärkten sich.

Um 6 h 45′, also nach 18′ Einwirkung, wurde der Strom abgestellt.

Bis 6 h 55′, also 10′, dauerte die Nachwirkung; die Krümmungen wurden ausgeprägter.

Von 6 h 55′ bis 7 h 00′ herrschte im Mikrometerfelde Stillstand.

Um 7 h 00′ fing die Ausstreckung an.

Der fixierte Sporangiumträger und noch 3 *Phycomyces* richteten sich etwas schneller als andere auf.

Um 7 h 25′ waren die 8 *Phycomyces* wieder ganz gerade.

(Die 2 *Phycomyces*-Exemplare, die nach dem oben Erwähnten ein Ausnahmeverhalten zeigten, waren während des ganzen Versuches indifferent geblieben: der eine gekrümmt, der andere gerade).

b) Nach 10′, also um 7 h 35′, habe ich einen Luftstrom durch das Tonrohr geleitet, zuerst mit derselben Intensität wie den CO_2-Strom; um 7 h 50′ wurde er auf das Doppelte verstärkt.

Bis 8 h 00′ wurde nur Wachstum, aber es wurden keine neuen Knickungen oder Krümmungen beobachtet.

Versuch.

An einem sehr gut wachsenden *Phycomyces* habe ich die Resultate eines zweimaligen Einwirkens des CO_2-Stromes beobachtet. Das zweite Mal aber erwies sich der *Phycomyces* weniger sensibel als das erste Mal und der Strom mußte etwas verstärkt werden, um wieder eine ausgesprochene Knickung hervorzurufen.

a) Die Knickung war nach den ersten 5 Min. der Einwirkung vollzogen; nach dem Abstellen des Stromes wurde die Krümmung ausgeglichen.

b) Ein Luftstrom von halbstündiger Dauer übte keine Wirkung aus, obwohl der Strom allmählich bedeutend verstärkt wurde.

c) Der erneuerte CO_2-Strom II. O. brachte erst nach 6 Minuten eine sehr schwache Krümmung zustande; etwas verstärkt rief er aber schon nach 2 Minuten eine ausgesprochene Wirkung hervor.

Ich führe jetzt ein Beispiel der Versuche an, bei denen die Dauer der CO_2-Einwirkung verlängert wurde.

Versuch.

Um 2 h 50′ wurde der Strom geöffnet. Erst nach 10 Min. fing die Krümmung an, zuerst langsam, dann sich sichtbar verstärkend. Der Strom wurde 1 Stunde 13 Min. durchgeleitet. Nach dem Abstellen des Stromes wurde während 27 Min. eine energische Nachwirkung beobachtet.

Während der Einwirkung des Stromes ist das Köpfchen an 4,5 Teilen des Mikrometers vorbeigegangen, während der Nachwirkung noch an 9. Der Knickungswinkel wurde dabei vollständig ausgeglichen und der Fruchtträger ging in eine schräge, stark geneigte Lage über, indem er sich in seiner ganzen Länge von dem Tonrohr fortbeugte.

Ich will jetzt einen Versuch anführen, bei dem ich 2 *Phycomyces*, die vollkommen gerade waren, zusammen im Mikroskopfelde hatte und bei der Einwirkung eines schwächeren CO_2-Stromes zuerst eine Zukrümmung und darauf erst eine Wegkrümmung von dem Gase beobachtet habe.

Der eine Fruchtträger war 3 mm höher als der andere; das Tonrohr wurde so aufgestellt, daß das Köpfchen des ersten sich 5 mm, das des zweiten 2 mm höher befand, während in den anderen Versuchen das Tonrohr meistens in der Höhe der Sporangien aufgestellt worden war.

Um 11 h 30′ wurde der CO_2-Strom I. O. geöffnet.

Um 11 h 35′ ließ der größere *Phycomyces* eine leichte Zukrümmung nach dem Rohre hin erkennen, die sich aber ungefähr 3 mm höher als das Tonrohr zeigte.

Um 11 h 45′ haben die beiden *Phycomyces* Zukrümmungen vollzogen.

Bis 12 h wurden die Zukrümmungen ausgeprägter.

12 h wurde der Strom etwas verstärkt.

12 h 05′: der größere *Phycomyces* zeigte noch eine kleine Verstärkung der Zukrümmung; der kleinere stand still.

Um 12 h 15′, also nach 10 Min., fing die Wegkrümmung an. Der kleinere führte die Krümmung schneller aus als der größere.

Um 12 h 30′ wurde der Strom abgestellt.

Um 12 h 45′ hat die Nachwirkung + Reaktionsbewegung während der CO_2-Einwirkung eine ausgesprochene Wegkrümmung ergeben.

Nach 12h 45′ kam ein kurzer Stillstand: dann folgte das Zurückkehren in die normale Lage.

Einige Versuche habe ich auch mit offenem Rohre, das in ein Kapillar auslief, ausgeführt. Auch hier wurden Wegkrümmungen beobachtet. Diese Versuchsanordnung ist aber nicht ratsam, da die Fruchtträger zu zart sind, so daß aus offenem Rohre auch ein ganz schwacher Strom, der sie indirekt trifft, ein im Mikroskop deutlich sichtbares Schütteln der Fäden verursacht. Also wird hier die Beobachtung erschwert, die Versuchsanordnung durch diese neue Erscheinung getrübt und vielleicht auch das Resultat irgendwie beeinflußt.

Die Winkel der Knickungen, die ich im allgemeinen beobachtet habe, variierten zwischen 26° und 45° und wurden, wie gesagt, bei der Dünne des Stengels immer mit unbewaffnetem Auge gut sichtbar.

Die Teilungen des Mikrometers erlauben eine ziemlich genaue Bestimmung dieser Winkel, indem man sich ein Dreieck konstruiert, von dem zwei Seiten, c und a, durch die Mikrometerlinien und die Mikrometerteile gegeben sind, während die Mitte durch den *Phycomyces*-Stiel gebildet wird (Fig. 6). Es ist also:

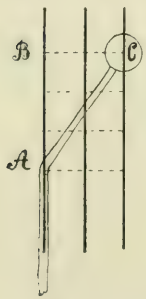


Fig. 6. Schema für die Bestimmung d. Winkelgröße der aeroïdotropischen Reaktionskrümmung bei *Phycomyces*.

$$\text{tg. A} = \frac{a}{c}$$

$$\text{lg. tg. A} = \text{lg. a} - \text{lg. c}, \text{ und damit der } \sphericalangle \text{A bestimmbar.}$$

Aus meinen Versuchen möchte ich einstweilen nur den Schluß ziehen, daß die *Phycomyces*-Fruchtträger gegen CO_2 reagieren. Es ist aber sehr wünschenswert, tiefer in das eigentümliche Verhalten des Pilzes einzudringen und genaue Relationen zwischen der Einwirkungsintensität sowie der Dauer und der Art der Reaktionen festzustellen.

Anhang zum Abschnitt II.

Neuntes Kapitel.

Untersuchung von N, H und O als möglichen Reizanlässen.

I. Versuche mit N.

Im Gegensatz zu den Versuchen mit CO_2, die von Anfang an zu keinen Widersprüchen oder Unklarheiten über ihre Einwirkung Anlaß gaben, sind meine ersten Versuche mit Stickstoff recht undeutlich und verschiedenartig ausgefallen. In einigen Fällen konnte ich auch bei gutem Wachstum der Objekte absolut keine Reaktionen konstatieren; in anderen Fällen kamen ausgesprochene negative Krümmungen von dem Diffusionsrohr zustande, diese allerdings nur beim Gebrauch stärkerer Ströme. Um so unverständlicher schienen mir diese Krümmungen zu sein, als die untersuchten Pflanzen dabei in der gewöhnlichen Atmosphäre blieben, also N in großer Menge in ihrer Umgebung hatten. Ich wollte aber die Versuche mit N gerade unter diesen Bedingungen zuerst ausführen, um zu den Versuchen von Molisch mit diesem Gase Stellung zu nehmen, der gleichfalls negative Krümmungen, von dem Stickstoffgefäße weg, bei den Wurzeln in gewöhnlicher Atmosphäre beobachtet hat [1]).

Ich werde zuerst einige Beispiele dieses ganz verschiedenartigen Verhaltens der Pflanzen gegen N nach meinen ersten Versuchen angeben.

Zuerst teile ich Beispiele mit, in denen der N-Strom keine Reaktion hervorbrachte. Wie aus allem bisher gesagten hervorgeht, können dabei nur wachsende Exemplare in Betracht kommen.

Versuch.

In diesem Versuche zeigte der Sproß von *Helianthus* eine leichte Nutation, die aber nichts mit dem einwirkenden Strom zu tun hatte.

1) Molisch l. c., 1884, S. 22 ff.

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
10 h 50′	50—55	N-Strom I. O. geöffnet, dann allmählich bis zum Strome II. O. verstärkt
55′	50,5	Kleine Nutation in der Richtung nach dem Rohre hin
11 h 00′	Dasselbe	
05′	49	
10′	Dasselbe	
15′	48,5	
20′	49	Kleine Bewegung in der entgegengesetzten Richtung
25′	Dasselbe	
30′	Dasselbe	
35′	49,5	
40′	Dasselbe	
45′	Dasselbe	Der N-Strom abgestellt.

Eine Stromeinwirkung von 55 Min. Dauer konnte keine Krümmung induzieren.

Versuch.

Als Untersuchungsobjekt dient ein *Lupinus*-Epikotyl.

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
10 h 20′	45—50	N-Strom II. O. geöffnet
30′	Dasselbe	
35′	Dasselbe	
40′	44,7	
45′	Dasselbe	
50′	Dasselbe	
55′	Dasselbe	
11 h 00′	Dasselbe	

Bis 11 h 20′, also 1 Stunde lang, bleibt die Einwirkung ohne Erfolg. Um 11 h 20′ wurde das Tonrohr auf die entgegengesetzte Seite des Sprosses übergeführt.

Bis 12 h 10′, also noch 50′, war die ganze Einwirkung ohne Erfolg geblieben. Die Beobachtungen erfolgten auch hier alle 5 Minuten.

Im Gegensatz zu diesen Versuchen bringe ich Beispiele solcher Versuche bei, wo die N-Ströme ausgesprochene negative Krümmungen

hervorriefen, welche nach dem Abstellen des Stromes wieder ausgeglichen wurden.

Versuch.

Während der Vorbeobachtung zeigt der Sproß von *Helianthus* (bis 15 cm lang) keine Nutation in der Ebene der Beobachtung.

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
10 h 40′	50—40	N-Strom II. O. **geöffnet**
45′	49	Eine Bewegung **von dem Rohre weg** fängt an
50′	48	
55′	46	
11 h 00′	44,5	
05′	42	Der Anfang der **Wegkrümmung** ist mit unbewaffnetem Auge sichtbar
10′	40	
15′	35	Eine **Beschleunigung** der Bewegung
30′	25	Der Strom **abgestellt**
35′	24	**Nachwirkung** mit **Verlangsamung** der Bewegung verbunden
40′	22	
45′	21	
50′	20	
55′	Dasselbe	**Stillstand**
12 h 00′	21	Es fängt das **Zurückkehren** in die normale Lage an
05′	22	
10′	30	Man konnte das Zurückkehren fast mit unbewaffnetem Auge verfolgen
20′	36	
	usw.	

Die ausgeführte Krümmung wurde vollständig ausgeglichen.

Dasselbe Verhalten zeigte ein Epikotyl von *Phaseolus* bei der Einwirkung eines stärkeren Stromes aus dem offenen Glasrohre.

Versuch.

Während einer einstündigen Einwirkung hat der vorher ganz gerade Keimling eine ausgesprochene Wegkrümung von dem Diffusions-

rohr ausgeführt (Fig. 7 A). Der Strom wurde nach 1 Stunde 20. Min. abgestellt.

Es erfolgte eine Nachwirkung, die 20 Min. dauerte, und dann ein Zurückkehren in die normale Lage, die der obere Teil des Epikotyls besonders stark ausführte, so daß eine S-Krümmung zustande kam (Fig. 7. B).

Wie gesagt, hat Molisch auch negative Krümmungen bei den Wurzeln, von dem Gefäße mit N fort beobachtet. Er wollte sie als Krümmungen von der sauerstoffärmeren zu der sauerstoffreicheren Atmosphäre, also als Reaktionen gegen O, nicht gegen N betrachten[1]).

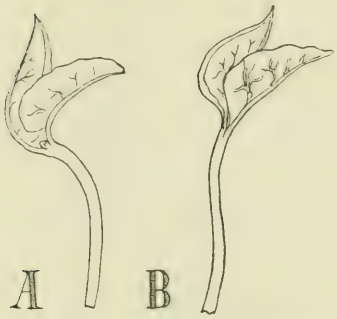


Fig. 7.
Aeroïdotropische Reaktionskrümmung bei *Phaseolus*.

Im Anschluß an diese Erklärung könnte man meinen, daß auch die von mir beobachteten negativen Krümmungen bei der Einwirkung eines N-Stromes auf die Sprosse als positiv aerotropische gegen Luft oder positiv aeroïdotropische gegen O betrachtet werden könnten. Es sprachen aber analoge Versuche, die bei gutem Wachstum zu keinen Reaktionen führten und meine Versuchsanordnung, die bei lokalisierter Einwirkung des Gases kaum für Aerotropismus genügende Luftdifferenzen in der Umgebung der Pflanze schaffen konnte, entschieden dagegen.

Andererseits war es höchst unwahrscheinlich, daß diese Krümmungen als negativ aeroïdotropische gegen N zu deuten seien, um so mehr als die Menge des N in der umgebenden Atmosphäre, solange die Pflanzen in dieser und nicht in einer künstlichen — ohne N — sich befanden, die Empfindlichkeit gegen N, wenn eine solche existieren sollte, dem Weberschen Gesetze gemäß ganz beträchtlich abstumpfen oder überhaupt eliminieren mußte.

1) Molisch l. c., 1884, S. 22 ff.

Es kam mir deshalb der Gedanke, daß die beobachteten Krümmungen als Folgen irgend welcher Verunreinigung des gebrauchten Gases aufzufassen seien. Ich habe mich daraufhin entschlossen, die Versuche mit N sozusagen von Anfang an wieder aufzunehmen. Die weitere Untersuchung hat meine Vermutung vollkommen bestätigt.

Ich hatte den N nach der üblichen Methode aus Kaliumnitrit und Chlorammonium dargestellt. Zur Neutralisation des im Kaliumnitrit enthaltenen Alkalis und zur Oxydation der sich bildenden Stickoxyde hatte ich Kaliumbichromat hinzugefügt.

Ich konnte mich aber erinnern, daß ich bei den ersten N-Darstellungen manchmal einen leichten Geruch von Ammoniak beim Füllen der letzten Gasometer wahrgenommen hatte.

Als Reinigungsmittel hatte ich bei den ersten Versuchen außer Wasser nur noch eine alkalische Lösung von Pyrogallussäure (zwei Flaschen) gebraucht, was gerade für die Reinigung des Gases von möglichen NH_3-Beimischungen nicht ausreichen konnte.

Bei allen weiteren Versuchen habe ich die größte Aufmerksamkeit auf die Reinigung des Stickstoffs gelenkt. Bevor der Gasstrom den Apparat erreichte, mußte er außer Wasser, nicht nur eine alkalische Lösung von Pyrogallussäure[1]), sondern auch ein U-förmiges Rohr mit Natronkalk, dann eine Flasche mit konzentrierter H_2SO_4 passieren und endlich wieder durch Wasserflaschen hindurchgehen.

Sobald die sorgfältige Reinigung des Gases vorgenommen wurde, nahmen die Versuche einen regelrechten Gang, ohne noch irgend welche Undeutlichkeiten oder Widersprüche aufzuweisen.

Dabei zeigte sich eine volle Indifferenz der Pflanzen gegen alle von mir gebrauchten Intensitäten und Längen der Einwirkungsdauer des N-Stromes.

Auch die schon vorhandenen Bewegungen konnten durch die N-Ströme weder beschleunigt, noch gehemmt oder zurückgehalten werden.

1) 50% KOH 5 Teile; 20% Pyrogallussäure 1 Teil.

Um der Reaktionsfähigkeit der untersuchten und auf N nicht reagierenden Objekte sicher zu sein, wurden Kontrollversuche mit CO_2 ausgeführt.

Sobald der N-Strom, ohne daß irgend etwas in den Bedingungen des Versuches geändert worden war, durch CO_2 ersetzt wurde, brachten dieselben Pflanzen, die bis jetzt indifferent geblieben waren, entsprechende Reaktionsbewegungen zustande.

Wie gesagt haben alle Versuche nach den vorgenommenen Maßregeln gegen Verunreinigungen gleiche Resultate ergeben. Ich werde über einige Beispiele berichten, die über die Stärke und Dauer der Einwirkung orientieren sollen.

Absichtlich wurden auch längere, besonders gut reaktionsfähige Sprosse gewählt.

Versuch.

Als Objekt diente ein *Helianthus*-Sproß, der 12 cm lang war und gut wuchs.

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
5 h 50′	49—63	N-Strom **I. O.** geöffnet
55′	Dasselbe	
6 h 00′	Dasselbe	Strom verstärkt zu **II. O.**
05′	Dasselbe	
10′	Dasselbe	
15′	49,2	
20′	Dasselbe	Wachstum ist während der ganzen Zeit des Versuches vorhanden
25′	49,4	
30′	Dasselbe	
35′	49,5	
40′	Dasselbe	
45′	Dasselbe	
50′	Dasselbe	
55′	50	
7 h 00′	Dasselbe	Das Tonrohr ist entfernt. Es wirkt ein Strom **III. O.** aus **offenem** Glasrohr
05′	Dasselbe	
10′	Dasselbe	

Keine Einwirkung des N-Stromes auf die Pflanze sichtbar.

Versuch.

Als Objekt ein Sproß von *Helianthus.*

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
5 h 50'	49	N-Strom **I. O.**
55'	Dasselbe	
6 h 00'	Dasselbe	
05'	Dasselbe	Strom verstärkt zu **II. O.**
10'	Dasselbe	
15'	Dasselbe	
20'	Dasselbe	
25'	Dasselbe	
30'	Dasselbe	
35'	Dasselbe	
40'	Dasselbe	
45'	Dasselbe	
50'	Dasselbe	
55'	50	
7 h 00'	Dasselbe	Strom **III. O.** aus **offenem** Glasrohr
Immer dasselbe		

Ich will jetzt einen Versuch anführen, bei dem die Pflanze eine Nutation zeigte, die ganz unabhängig von der Einwirkung der Diffusion des Gases auf die Pflanze zuerst in der einen, dann in der anderen Richtung vor sich ging.

Versuch.

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
4 h 55'	50—65	Es dauert noch die **Voruntersuchung**
5 h 00'	Dasselbe	
05'	66,5	Bewegung in der Richtung **nach dem Rohre hin**
10'	Dasselbe	
15'	66,6	
20'	Dasselbe	Wachstum ung. 1 Mikrometerteil alle 5 Min. N-Strom I. O. **geöffnet**
25'	Dasselbe	
30'	66,9	
35'	Dasselbe	
40'	Dasselbe	
45'	66,5	Bewegung in der Richtung **von dem Diffusionsrohr**

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
50′	66,1	
55′	65,9	
6 h 00′	65.5	
05′	65,3	
10′	65,5	Bewegung in der Richtung **nach dem Rohre hin**
15′	Dasselbe	
20′	Dasselbe	
25′	65,3	Bewegung **von dem Rohre** Strom **verstärkt** (II. O.)
30′	65,0	
35′	64,9	
40′	Dasselbe	
45′	Dasselbe	Strom **abgestellt**
50′	Dasselbe	
55′	Dasselbe usw.	
7 h 20′	65,1	Bewegung **zu** dem Rohre hin Strom II. O. **geöffnet**
25′	Dasselbe	
30′	65,2	Die Bewegung dauert in der Richtung **zu** dem Rohre fort
35′	65,4	
40′	65,6	
45′	Dasselbe	
50′	65,8	
55′	66	
8 h 00′	Dasselbe usw.	

Die Beobachtung wurde noch bis 8 h 30′ fortgesetzt.

Aus diesem Versuche ist ersichtlich, daß während 3 Stunden 30 Min. ununterbrochener Beobachtung die Pflanze kleine Nutationen, wie in der Richtung zu dem Rohre hin, so auch von dem Rohre fort zeigte, genau so, als ob gar kein N-Strom vorhanden wäre.

Die Bewegungen waren im allgemeinen minimal klein, nur Teile eines Mikrometerteils betragend, während bei den Reaktionen, wie schon öfters gezeigt wurde, manchmal ganze Millimeter in 5 Min. zurückgelegt wurden.

Ich bringe noch ein Beispiel mit Kontrolleinwirkung von CO_2 bei.

Versuch.

Um 4 h 45′ wurde ein N-Strom III. O. aus offenem Rohre auf die Pflanze geleitet.

Während 20 Min. wurde keine Bewegung sichtbar.

Um 5 h 05′ wurde der N-Strom durch einen CO_2-Strom ersetzt.

Sofort fing die Wegbewegung an, die regelmäßig weiter vor sich schritt.

Als letztes Beispiel möchte ich einen Versuch angeben, bei dem der Keimling schon vor dem Versuch eine bestimmt gerichtete Bewegung zeigte. Der N-Strom III. O. konnte diese Bewegung weder hemmen noch verhindern. Eine Kontroll-Einwirkung von CO_2 hat die Bewegung zuerst zum Stillstand gebracht, dann in die entgegengesetzte umgeändert.

Versuch.

	Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
	3 h 10′	50	Es dauert die **Vorbeobachtung**
	15′	49	
	20′	48,2	
	25′	47	N-Strom **III.** O. aus offenem Rohre in der Richtung **gegen** die vorhandene Bewegung geöffnet
	30′	46,6	
	35′	46,4	
	40′	46	
	45′	45,5	
	50′	44,8	
	55′	44	Die Bewegung **zu** dem Rohre **dauert fort.**
			N-Strom durch CO_2-Strom ersetzt
	58′	Dasselbe	Sofort **Stillstand**
	4 h 00′	Dasselbe	
2 Min.	03′	44,5	Die Bewegung unter der Einwirkung von CO_2 **in die entgegengesetzte umgeschlagen**
	05′	45	
	10′	46	
		usw.	

Diese Beispiele mögen einstweilen genügen, um das Bild des indifferenten Verhaltens der Pflanzen gegen N unter normalen atmosphärischen Bedingungen in ihrer Umgebung übersichtlich zu machen.

Alle angeführten Versuche boten für mich ein Interesse hauptsächlich deshalb, um Klärung in die von Molisch und anfangs auch von mir beobachteten Tatsachen der scheinbaren Einwirkung von N zu bringen.

Obwohl es im allgemeinen unwahrscheinlich ist, daß der N als solcher als Reizanlaß wirken könne, kann diese Frage erst dann als endgültig entschieden betrachtet werden, wenn man die untersuchten Pflanzen in eine künstliche Atmosphäre ohne N setzt, und sie auch dabei der einseitigen Zufuhr von N gegenüber indifferent findet[1]).

Parallel diesen Untersuchungen mit N-Einwirkung hat mich die andere Seite der aus den ersten Versuchen entspringenden Frage, nämlich die Art der Beimischungen, welche die negativen Krümmungen hervorgerufen haben konnten, interessiert.

Wie schon erwähnt, hatte ich Grund zu vermuten, daß ich bei meinen ersten Versuchen manchmal mit NH_3-Beimischungen zu tun hatte.

NH_3 kann nach Molisch negative Krümmungen auslösen. Molisch hat an den Wurzeln negative Krümmungen von dem Gefäße fort konstatiert, in dem sich „eine Mischung von $^1/_4$ Tropfen (?) NH_3 und 25 ccm Wasser" befand[1]).

Da die Beimischungen von NH_3 in meinen Versuchen jedenfalls sehr klein waren, mußte ich Kontrollversuche mit äußerst kleinen Mengen des einwirkenden NH_3 ausführen, um seine mögliche Mitbeteiligung an den beobachteten Krümmungen zu prüfen.

Ich habe diese Kontrollversuche mit NH_3 folgendermaßen angestellt.

1) Da es mir, wie gesagt, sehr unwahrscheinlich scheint, daß der N überhaupt auf die Pflanzen als Reizanlaß wirken könne, habe ich keine solchen Versuche ausgeführt.

2) Molisch l. c., 1884, S. 52.

Aus einem Gasometer, der mit Luft gefüllt war (die Füllung mit Luft wurde wie üblich im Garten des Versuchshauses ausgeführt, um über reine Luft zu verfügen), wurde der Luftstrom durch eine Flasche mit einer schwachen Lösung von NH_3 geleitet; dann kam diese Luft mit den Spuren von Ammoniak, die sie bei dem Durchgehen durch die Flasche mit der NH_3-Lösung aufnehmen konnte, in den Apparat, und wirkte aus einem offenen Glasrohre auf die Pflanze ein.

Auf die Durchlüftung des Apparates wurde dabei eine besonders große Sorgfalt verwendet. Ein beständiger Wasserstrom brachte diese Durchlüftung mittelst eines Siphons zustande.

Da das NH_3 auch als Gift wirkt, so trugen die Versuche mit ihm einen komplizierten Charakter, der eine weitere Bearbeitung dieser Art der Einwirkungen erforderlich macht.

Einstweilen kann ich folgendes berichten:

Luftströme, die eine 2—3 cm dicke Schicht einer 1% Lösung von NH_3 passiert hatten, riefen manchmal keine, manchmal schwache negative Krümmungen hervor.

Luftströme durch eine 3% Lösung von NH_3 haben manchmal stärkere negative Krümmungen, manchmal schon Beschädigungen hervorgerufen.

Luftströme, die durch noch stärkere NH_3-Lösungen durchgeleitet wurden, riefen immer Beschädigungen hervor: der Sproß wurde auf der dem Rohre zugewendeten Seite bräunlich und rissig; solange das Wachstum fortdauerte, entstanden dabei starke „positive" Krümmungen nach dem Tonrohre hin, wahrscheinlich weil die beschädigte Seite wachstumsunfähig wurde. Diese Krümmungen dürfen selbstverständlich nicht als richtige positiv aeroïdotropische Reaktionskrümmungen betrachtet werden.

Man kann mit größter Wahrscheinlichkeit vermuten, daß gerade mit diesen „positiven" Krümmungen Sammet in seinen schon einmal erwähnten Versuchen mit Ammoniak und anderen giftigen Substanzen, wie Dämpfen von Äthylalkohol, Methylalkohol, Äther, Wasser, Aceton, Essigsäure, zu tun hatte. In seinem Berichte folgen, wie oben er-

wähnt (s. S. 72), unmittelbar auf die Angaben „gute“ und „sehr gute“ positive Krümmungen die Notizen „krank“ und „tot“[1]).

Von diesen giftigen Einwirkungen eines konzentrierteren Ammoniaks sehe ich einstweilen ab und werde nur ein Beispiel der negativen aeroïdotropischen Krümmung gegen den Luftstrom, den die 3% Lösung von Ammoniak passiert hat, angeben.

Nach der Reaktion wurde hier eine Ausgleichung der Krümmung und weiteres Wachstum des Sprosses beobachtet.

Versuch.

Ein *Helianthus*-Sproß befindet sich zwischen dem 50 und 61,3 Mikrometerteilstrich.

Um 4 h 50′ Der Strom geöffnet. Der Sproß fängt die Wegkrümmung sofort an.

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
4 h 50′	50	
55′	51	**Weg**-Krümmung
5 h 00′	52,4	
05′	54,5	**Beschleunigung** der Krümmung
10′	57,8	

Den Strom abgestellt, um keine Beschädigung hervorzurufen. Mehr als eine Stunde dauerte die Nachwirkung; dann wurde die Krümmung ausgeglichen.

Einmal hat der *Helianthus*-Keimling bei der Einwirkung des Luftstromes von demselben NH_3-Gehalt eine seitlich zu dem Glasrohr gerichtete Krümmung ausgeführt, ist also auf eine andere Weise dem Strom ausgewichen[2]).

Trotz der negativen Krümmungen, die ich bei der Einwirkung der kleinen Mengen von NH_3 beobachtet habe, habe ich einstweilen noch keinen Grund anzunehmen, daß ausschließlich das NH_3 die

1) Sammet l. c., 1905, S. 25, 26.

2) Auch sonst habe ich bei der Einwirkung von CO_2 und O durch ein offenes Rohr 2—3 mal Krümmungen beobachtet, welche die Pflanze in der senkrecht zu der Stromrichtung gerichteten Ebene aus dem Einwirkungsbereich fortführten.

negativen Krümmungen in den ersten Versuchen mit N auslöste. Es könnten auch z. B. die Stickoxyde dabei wirksam gewesen sein.

Das eine steht allerdings nach diesen meinen späteren Untersuchungen fest, daß N für sich, unter normalen atmosphärischen Bedingungen in der Umgebung der Pflanze, keine Reizwirkung auszuüben vermag und daß das Verhalten der Sprosse gegen N als indifferent bezeichnet werden muß.

II. Versuche mit H.

Versuche mit Wasserstoffeinwirkung haben von Anfang an gleichförmige Resultate ergeben. Sie stellten eine volle Indifferenz der Sprosse gegen die Einwirkung von H fest.

Der gebrauchte Wasserstoff wurde aus Zn und 20% H_2SO_4 dargestellt. Als Reinigungsmittel wurden, außer Flaschen mit destilliertem Wasser, Kaliumpermanganat, Natronkalk und eine alkalische Lösung von Pyrogallussäure gebraucht; dadurch konnten auch mögliche Beimischungen von Schwefelwasserstoff und mögliche Verunreinigungen der Schwefelsäure beseitigt werden.

Ich gebe einige Beispiele der Versuche mit Wasserstoff an, die das indifferente Verhalten der Sprosse diesem Gase gegenüber genauer bezeugen werden.

Da die Diffusionsgeschwindigkeit der Gase umgekehrt proportional den Quadratwurzeln ihrer spezifischen Gewichte ist, so wurde bei Strömen von Wasserstoff, welche der Menge des ganzen durchgeleiteten Gases nach den Strömen I. und II. O. von CO_2 und von N gleich waren, die Menge des diffundierenden, und also auf die Pflanze einwirkenden Gases entsprechend dem spezifischen Gewichte des Wasserstoffs größer als bei der Diffusion der CO_2 und des Stickstoffs.

In dem nächstfolgenden Versuch zeigte der *Helianthus*-Sproß eine leichte Nutation, aber keine Reaktionsbewegung.

Versuch.

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
3 h 55′	40—57	Strom von **H** (II. O. nach der ganzen Menge des durchgeleiteten Gases in jeder Minute) geöffnet
4 h 00′	Dasselbe	
05′	Dasselbe	
10′	Dasselbe	
15′	Dasselbe	
20′	57,5	
25′	Dasselbe	
30′	Dasselbe	
35′	Dasselbe	
40′	Dasselbe	
45′	Dasselbe	
50′	Dasselbe	Der Strom **verstärkt**
55′	Dasselbe	
5 h 00′	57,8	
05′	Dasselbe	
10′	58	
15′	Dasselbe	
20′	Dasselbe	
25′	Dasselbe	
30′	58,5	
35′	Dasselbe	
40′	Dasselbe	
45′	58,8	
50′	59	
55′	Dasselbe	
6 h 00′	59,3	
05′	Dasselbe	
10′	Dasselbe	
15′	Dasselbe	
20′	59,5	
25′	Dasselbe	
30′	59,8	
35′	Dasselbe	
40′	Dasselbe	
45′	Dasselbe	
50′	Dasselbe	
55′	Dasselbe	
7 h 00′	Dasselbe	
05′	Dasselbe	Der Strom **abgestellt**

Die Beobachtung dauert noch weiter in Intervallen von je 5 Min. bis 8 h 10′ fort. Das Ergebnis bleibt immer dasselbe.

Also: während 4 St. 15 Min. regelmäßiger Beobachtung wurde keine Reaktion sichtbar.

Ich führe noch einen Versuch mit einem *Helianthus*-Sproß an.

Das Wachstum ist auch in diesen Versuchen die notwendige Bedingung der Untersuchung.

Versuch.

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
12 h 20′	40—52	Strom II. O. von H geöffnet
25′	Dasselbe	
30′	Dasselbe	
35′	Dasselbe	
40′	Dasselbe	
45′	40,5	
50′	Dasselbe	
55′	41	
1 h 00′	Dasselbe	
05′	Dasselbe	
10′	Dasselbe	
15′	Dasselbe	
20′	Dasselbe	
25′	41,2	
30′	Dasselbe	Die Beobachtung dauert alle 5 Min. fort
2 h 00′	Dasselbe	
3 h 00′	Dasselbe	
3 h 20′	Dasselbe	Während dieser 2 St. wurde der Sproß **25 Teile** länger, war also ungefähr **8 mm** gewachsen
4 h 00′	Dasselbe	

Um 3 h 30′ wurde der Strom abgestellt. Die Beobachtung dauerte bis 4 h 00′. Während 3 St. 40 Min. wurde demnach keine Reaktion sichtbar, obwohl das Wachstum ausgezeichnet vor sich ging.

Versuch.

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
3 h 45′	45—57	Strom II. O. von H geöffnet
50′	Dasselbe	
55′	44,5	Eine leichte Bewegung in der Richtung **zu** dem Rohre hin
4 h 00′	Dasselbe	
05′	44	
10′	Dasselbe	
15′	Dasselbe	
20′	Dasselbe	
25′	Dasselbe	
30′	44,5	Eine leichte Bewegung in der Richtung **von** dem Rohre
35′	Dasselbe	
40′	Dasselbe	
45′	Dasselbe	
50′	Dasselbe	
55′	Dasselbe	
5 h 00′	Dasselbe	
05′	44	Wieder **zu** dem Rohre
10′	Dasselbe	Der Strom **abgestellt**.

Das Wachstum dauerte die ganze Zeit fort, der Sproß war während der Zeit des Versuches um 11 Teile gewachsen.

Auch bei der Diffusion des Wasserstoffs aus offenem Rohre (wobei der Aussaugeapparat, wie immer, in Funktion gesetzt wurde) vermochte dieses Gas keine Reaktionsbewegung auszulösen.

Versuch.

Um 5 h 25′ wurde der Strom III. O. geöffnet, die Pflanze zeigte ein gutes Wachstum und keine Nutationen.

Bis 6 h 25′ dauerte die Einwirkung; es wurde keine Reaktion beobachtet.

Zum Schluß möchte ich einen Versuch anführen, in dem zuerst ein Stickstoff-, dann ein Wasserstoff- und zuletzt ein Kohlensäurestrom, alle III. O., aus offenem Glasrohr auf die Pflanze geleitet wurden.

Während der Einwirkung von N und H blieb der Sproß vollkommen indifferent; sobald aber der CO_2-Strom an Stelle des H-Stroms geleitet wurde, kam die Reaktionskrümmung sofort zustande.

Versuch.

	Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
	4 h 25′	50—65	Es dauert noch die **Vorbeobachtung**
	30′	Dasselbe	
	35′	50,5	
	40′	51	
a)	45′	Dasselbe	**N**-Strom III. O. **geöffnet**
	50′	Dasselbe	
	55′	Dasselbe	
	5 h 00′	Dasselbe	
	05′	Dasselbe	
b)	10′	Dasselbe	N-Strom durch **H**-Strom III. O., also derselben Diffusionsstärke (da die Diffusion aus dem **offenen** Rohre erfolgt), ersetzt
	15′	Dasselbe	
	20′	50,9	
	25′	Dasselbe	
	30′	Dasselbe	Strom von **H** verstärkt
	35′	Dasselbe	
	40′	Dasselbe	H-Strom **abgestellt**
c)	42′	Dasselbe	**CO_2**-Strom III. O. geöffnet
	47′	50,6	Es fängt sofort eine **Weg**krümmung an
	50′	50	
	55′	49,4	
	6 h 00′	48,6	
		usw.	

Der Sproß führt eine negative Krümmung aus, was auch seine Reaktionsfähigkeit vollkommen bestätigt.

III. Versuche mit O.

Aus den Versuchen, die ich bis jetzt mit Sauerstoff ausgeführt habe, folgt, daß Sauerstoff als Reizanlaß wirksam ist; meine Versuche darüber kann ich aber noch nicht als abgeschlossen betrachten.

Die Versuche mit Wurzeln von Molisch, die zu der Frage des Aeroïdotropismus gegen O gehören, in denen er nicht Luft, sondern reinen Sauerstoff durch „Interdiffusion" auf die Wurzeln wirken ließ, führten ihn zu dem Resultat, daß die Wurzeln Wegkrümmungen gegen Sauerstoff aufweisen[1]). Die Wurzeln „krümmen sich entweder gleich vom Spalte weg oder sie wenden sich . . . etwas in denselben hinein, werden aber alsbald gerade und wachsen sodann von der sauerstoffreicheren Atmosphäre weg"[2]).

Molisch betont aber, daß die von ihm beobachteten Bewegungen vom Sauerstoff fort „im Gegensatz zu den durch andere Gase eingeleiteten" „nicht sehr prägnant" waren und manchmal schon nach 5—6 Stunden wieder ausgeglichen wurden[3]).

Im allgemeinen sagt Molisch, daß sich die Sache bezüglich des Sauerstoffs komplizierter verhalte als bei der Einwirkung anderer Gase.

In diesen seinen Bemerkungen trägt Molisch vollständig der Sachlage Rechnung.

Die Resultate von Sammet, bei dem man überall und immer, bei „Interdiffusion" nach Molisch sowie bei „Massenströmungen" des Sauerstoffs, nach 1 wie nach 24 Stunden intensive und ausnahmslose +-Krümmungen zu reinem Sauerstoff angegeben findet, scheinen ganz merkwürdig zu sein[4]).

Die Untersuchung der Einwirkung von O auf die Pflanzen bietet nämlich die größten Schwierigkeiten, da O bei dem normalen Zustande der Pflanze sich immer in großen Mengen in ihrer Umgebung befindet und dadurch die Stimmung der Pflanze gegen O-Einwirkung unvermeidlich in hohem Grade beeinflußt. Man steht

1) Molisch l. c., 1884, S. 8 ff., Tab. I. Die Versuche mit Luftdifferenzen, S. 16 ff., gehören zur Frage des Aerotropismus und geben auch bei Molisch Resultate, die mit denen der Einwirkung von reinem O nicht übereinstimmen.

2) Molisch l. c., 1884, S. 10.

3) Derselbe l. c. 1884, S. 10, 11.

4) Und nicht weniger merkwürdig ist, daß er das positive Verhalten zu O auch als Molischs Ergebnis angibt. S. Sammet, l. c., 1905, S. 27.

bei der Untersuchung des Aeroïdotropismus gegen Sauerstoff vor einem schwierigen Dilemma.

Entweder nimmt man die Pflanze unter normalen atmosphärischen Bedingungen, wie es den methodischen Forderungen der Untersuchung entspricht. Dann hat man von Anfang an schon mit der Unterschiedsschwelle der eigentlich noch ganz unbekannten O-Perzeption zu tun. Dazu muß noch die Möglichkeit berücksichtigt werden, daß, wenn der Pflanze Sauerstoff in genügender Menge aus der umgebenden Atmosphäre zur Verfügung steht, dieses Gas vielleicht überhaupt keine, sonst mögliche, „anlockende" Wirkung auf die Pflanze ausüben wird, u. dergl. mehr.

Oder man muß die Pflanze O-Mangel erleiden lassen. Dann haben wir aber mit anomalen Bedingungen des Lebens und mit entsprechend veränderter Reaktionsfähigkeit zu tun.

Ich habe bis jetzt 20 Versuche mit allen Vorsichtsmaßregeln des singularen Verfahrens ausgeführt, habe aber immer noch kein einheitliches Bild von dem Aeroïdotropismus der Sprosse gegen O gewonnen.

Einstweilen will ich für den Fall, daß jemand diese Versuche übernehmen würde, bemerken, daß sich im allgemeinen folgende Versuchsanordnung besser verwertbar erwies als andere.

Es wird ein Gläschen mit starker Pyrogallussäure unter die Glasglocke des Apparates gestellt, die Atmosphäre unter der Glasglocke aber von der umgebenden Atmosphäre durch eine Wasserschicht isoliert.

Es kommt dabei eine Verarmung der unter der Glocke sich befindenden Atmosphäre an Sauerstoff zustande, und die Empfindlichkeit der Pflanze gegen die durch das Tonrohr diffundierende Menge von Sauerstoff scheint dadurch erhöht zu werden.

(In einigen Fällen wurde die Atmosphäre unter der Glocke durch eine Stickstoffatmosphäre ersetzt).

Das Wachstum bleibt dabei, wie ich aus meinen Versuchen schließen kann, mindestens während der 2 ersten Stunden unverändert. Diese Zeit ist für die ersten Versuche genügend.

Sauerstoff habe ich aus chlorsaurem Kali mit Zusatz von Mangansuperoxyd dargestellt; als Reinigungsmittel sind KOH, Natronkalk und Wasser gebraucht.

Dabei konnte ich in einigen Fällen bei schwächeren Einwirkungen positive, bei stärkeren, nämlich bei der Diffusion des Sauerstoffes aus offenem Rohre, Wegkrümmungen beobachten.

Da es mir aber nicht gelang, die Bedingungen der Versuche quantitativ genau festzustellen, so z. B. die Menge des O in der Umgebung der Pflanze nach der Absorption zu ermitteln, so behalten diese Versuche einen unbestimmten Charakter, der sie nicht der Anführung wert erscheinen läßt; sie müssen vorerst weiter verfolgt werden.

Abschnitt III.

Einzelne Momente des Reizvorganges.

Zehntes Kapitel.

Zur Frage der Trennung von Perzeption und Reaktion oder von der direkten und indirekten Reizbarkeit (beim Aeroïdotropismus).

Von einer Lokalisierung des Perzeptionsvermögens im eigentlichen Sinne darf man wohl nur dann mit vollem Rechte sprechen, wenn Sinnesorgane für die Aufnahme des betreffenden Reizanlasses festgestellt sind [1]).

Aber auch da spricht man von einer Trennung der Perzeption und Reaktion, wo noch keine Sinnesorgane entdeckt sind, wo jedoch die Perzeption einem bestimmten Teile des Organismus, die Reaktionsfähigkeit einem anderen zukommt.

Beispiele dieser räumlichen Trennung sind von PFEFFER für verschiedene Tropismen eingehend besprochen [2]).

Da, wo diese Trennung besteht, kann man mit ROTHERT von einer indirekten Reizbarkeit, im entgegengesetzten Falle von einer direkten [3]) sprechen.

1) HABERLANDT, G., „Physiologische Pflanzenanatomie", 1904, Zwölfter Abschnitt. „Die Sinnesorgane", S. 506 ff.

2) PFEFFER, W., „Pfl.-Phys.", 1904, § 120, „Beispiele für die räumliche Trennung von Perzeption und Aktion", S. 599 ff.

3) ROTHERT, W., „Über Heliotropismus". Cohns Beitr., 1896, Bd. VII.

Bei den Erscheinungen der Reizung durch Gase ist die Frage der Trennung von Perzeption und Reaktion zuerst von Molisch, dann aber auch von Sammet behandelt und von beiden in negativem Sinne entschieden worden, d. h. bei Aeroïdotropismus sollte nach ihrer Meinung nur von einer direkten Reizbarkeit die Rede sein.

So sagt Molisch auf Grund seiner Versuche folgendes: „Es kann als feststehend betrachtet werden", daß Kohlensäure und einige andere Gase, indem sie als Reizanlässe wirken, „unmittelbar in jener Zone Aeroïdotropismus induzieren, wo wir die Krümmung sich vollziehen sehen"[1]).

Für die richtige Bewertung dieses Schlusses kommt die Frage in Betracht, auf welche Weise dieser Schluß zustande gekommen ist.

Wie Molisch, so hat auch Sammet für die Entscheidung des aufgestellten Problems nur eine Methode, nämlich die des Dekapitierens, angewandt.

Ich will mich nicht dabei aufhalten, daß die experimentellen Ergebnisse beider Autoren nichts weniger als übereinstimmen, sondern nur kurz hervorheben, daß Molisch nur nach Abschneiden von 1 mm noch eine Reaktion erzielen konnte, während weiterhin die Resultate für seine Behauptung ungünstig ausfielen[2]), während Sammet mit befremdend wirkender Regelmäßigkeit in seinen Versuchen ausnahmslos, beim Abschneiden bis 3 mm eine Reaktion, bei 4 mm keine solche mehr konstatierte[3]).

Ich denke, daß einzelne Unklarheiten und Widersprüche nicht kritisiert zu werden brauchen; denn die ganze Methode des Dekapitierens muß zuerst auf ihre Stichhaltigkeit geprüft werden. Sie wird sich von allgemeineren Standpunkten aus für die Entscheidung des Problems als ungeeignet erweisen.

1) Molisch l. c., 1884, S. 65.
2) Ders., l. c., 1884, S. 62, 64.
3) Sammet l. c., 1905, S. 30.

Wie bekannt hat Rothert[1]) die Dekapitierungsmethode scharf angegriffen und später Czapek[2]) ihm vollständig beigestimmt.

Rothert hat seine Kritik auf der Möglichkeit einer schädlichen Wirkung der Verwundung begründet, wenn schon diese nach seiner Meinung nur wenig in der Hemmung des Wachstums, sondern hauptsächlich in der Abstumpfung der Empfindlichkeit des Organismus zu suchen ist[3]).

Sobald aber durch Abschneiden die Reaktion sistiert wird, oder, allgemeiner gesagt, sobald sie nicht mehr zustande kommt, wird eine Schlußfolgerung über das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein der Perzeption, falls nicht weitere, methodisch andere Untersuchungen angestellt werden, nicht möglich, auch die nicht, daß die Empfindlichkeit ganz oder auch nur teilweise unterdrückt oder nicht unterdrückt sei.

Welche große Vorsicht überhaupt bei jedem Urteil über den Zustand der „Empfindlichkeit" und der Perzeptionsfähigkeit eines Organismus nötig ist, kann man bei Rothert selbt gut lernen, da er die Vermutung für sehr wahrscheinlich hält, daß die Empfindlichkeit in der Pfanze viel länger als irgend eine Reaktionsfähigkeit bestehen bleiben kann[4]).

Allerdings scheint die Frage der möglichen Abstumpfung oder Nichtabstumpfung der Empfindlichkeit für die Beurteilung der Dekapitierungsmethode in dem gegebenen Fall nicht besonders wichtig zu sein.

Nehmen wir an, daß das Dekapitieren die Empfindlichkeit nicht unterdrücke, sobald eine dekapitierte Pflanze keine Reaktion mehr aufweist, so kann man sich dabei doch keinen einzigen Schluß auf die Perzeption erlauben, da die Sistierung der Reaktion nicht

---

1) Rothert, W., „Zur Streitfrage über die Funktion der Wurzelspitze". Eine kritische Literaturstudie. Flora, 1894.

2) Czapek, Fr., „Untersuchungen über Geotropismus". Jahrb. f. wiss. Bot., 1895.

3) Rothert l. c., 1896, S. 193.

4) Rothert l. c., 1896, S. 180.

nur von dem Nichtperzipieren, sondern auch von tausendfältigen anderen Gründen abhängig sein kann.

Man vergleiche nur die Verschiedenartigkeit der Reaktionen bei den dekapitierten Pflanzen, so wie sie in der Literaturstudie von Rothert zusammengestellt sind[1]), ebenso die Differenzen in den Versuchen von Sammet und Molisch an dekapitierten Exemplaren und endlich die entsprechenden Versuche über Chemotropismus von Lilienfeld, der eine große Verschiedenartigkeit der Reaktionen bei den Dekapitierungsversuchen betont, so daß, während einige Wurzeln planmäßig reagierten, bei anderen in demselben Versuch entgegengesetzte oder selbst gar keine entscheidenden Reaktionen zustande kamen[2]). Auch aus den Versuchen Lilienfelds ergibt sich, daß dieses verschiedenartige Verhalten dekapitierter Pflanzen wahrscheinlich nichts mit der Reizaufnahme zu tun hatte, vielmehr seine Gründe in verschiedenen anderen Momenten des Versuchs haben konnte.

Molisch will das Ausbleiben der Krümmung in seinen Versuchen schon beim Abschneiden von 1,5 mm, das seinem Schluß auf die „direkte" Reizbarkeit eigentlich vollständig widerspricht, durch schlechtes Wachstum, entgegenwirkende Nutationen usw. erklären[3]).

Nach alledem scheint die Dekapitierungsmethode für die Frage der direkten oder indirekten Reizbarkeit nur so lange Wert und auch dann nur einen orientierenden Wert zu haben, als sie die Reaktion nicht verhindert. Sobald jedoch die Reaktion aufgehoben wird, hebt sich auch die Dekapitierungsmethode selbst auf. Und hier muß die eigentliche Untersuchung erst anfangen.

Auch dann, wenn das Dekapitieren in viel größerem Umfang möglich ist, ohne die Reaktion zu verhindern, läßt es doch das Wesen der Frage über die Perzeption und Reaktion unberührt.

So haben z. B. die Orientierungsversuche, die ich mit dekapitierten Sprossen ausgeführt habe, gezeigt, daß das Abschneiden

1) Rothert l. c., 1894.

2) Lilienfeld, M., „Über den Chemotropismus der Wurzel". Vorl. Mitt. Ber. d. D. Bot. Ges. 1905, S. 96.

3) Molisch l. c., 1884, S. 64.

der Sprossenspitzen bei *Helianthus* und einigen anderen Dikotylen bis zu 10 mm und sogar manchmal in größerer Länge die Reaktion nicht verhindert.

Der Gang des Prozesses bleibt dabei im wesentlichen derselbe wie bei den intakten Pflanzen. (Kleinere Modifikationen, die bei größerem Dekapitieren beobachtet wurden, werde ich später für einen anderen Zweck noch erwähnen).

Aber auch die Möglichkeit eines so beträchtlich großen Abschneidens ohne Reaktionsaufhebung kann keinen weiteren Schluß erlauben, als daß die Perzeptionsfähigkeit für die in Frage kommenden Reizanlässe jedenfalls nicht auf die Spitze des Keimlings beschränkt ist.

Es ist schon von Ch. Darwin, dann von Rothert und Czapek und vielen anderen Autoren eine andere Methode als die des Dekapitierens für die Frage der Trennung von Perzeption und Reaktion angewandt worden, nämlich die der Lokalisation der Reizung.

Rothert hat durch Stanniolkäppchen, Papierschürzen u. dgl. die heliotropische Reizung[1]), Czapek durch Glaskäppchen die geotropische Reizung[2]) lokalisiert. In der letzten Zeit wurden verschiedene andere Verfahren für denselben Zweck der Lokalisierung des Reizes vorgeschlagen, so das Feststecken der Wurzelspitze oder der Sprossenspitze in einer geo-reizbaren Lage[3]), oder das Verfahren von Steyer mit *Phycomyces*, den er mittelst eines Glasstabes heliotropisch lokalisiert reizte[4]) u. a. m.

1) Rothert l. c., 1896, S. 12—24.

2) Czapek, Fr., „Über den Nachweis der geotropischen Sensibilität der Wurzelspitze". Jahrb. f. wiss. Bot., 1900, Bd. 35.

3) Darwin, Fr., „On Geotropism and the Localisation of the Sensitive Region", Annals of Bot., 1899, Vol. XIII.; „Preliminary Note on the Function of the Root-tip in Relation to Geotropism.", Proc. Cambr. Philos. Soc., 1901, Vol. XI; „On a Method of Investigating the gravitational sensitiveness of the Root-tip", The Journal of the Linnean Soc., 1902, Vol. XXXV.

4) Steyer l. c., 1901.

In vielen Beziehungen hat sich die Lokalisierungsmethode gut bewährt und zu ganz bestimmten Resultaten geführt; in einigen Beziehungen aber hat sie immer noch Unklarheiten gelassen. Die Versuche Rothierts z. B. haben hauptsächlich quantitative Unterschiede in der Verteilung der heliotropischen Empfindlichkeit und Perzeption ergeben[1]). Die Versuche von Czapek fordern, wenn man sie mit denen von Richter[2]) und Cholodnyi[3]) vergleicht, gleichfalls eine weitere Untersuchung über die Trennung der Perzeption und Reaktion im Geotropismus[4]).

Man könnte eigentlich sagen, es stehe einstweilen noch in keinem einzigen Falle unbestreitbar fest, daß irgend ein Teil des lebenden pflanzlichen Organismus vollständig perzeptionsunfähig ist, während er Reaktionsfähigkeit besitzt.

Wenn es aber auch zuträfe, daß allen lebenden Zellen eine Perzeptionsfähigkeit in nur quantitativ verschiedenem Maße zukäme, wie auch aus der oben erwähnten Vermutung Rotherts gefolgert werden kann, könnte doch die Frage von der Trennung der Perzeption und Reaktion, d. h. von einer direkten oder indirekten Reizbarkeit durch den betreffenden Reizanlaß ihre Bedeutung nicht verlieren.

1) Weiteres über Perzeption und Empfindlichkeit s. auch bei Fitting, H., „Lichtperzeption und phototropische Empfindlichkeit, zugleich ein Beitrag zur Lehre von Etiolement". Jahrb. f. wiss. Bot., 1907, Bd. XLV.

2) Richter, E., „Zur Frage nach der Funktion der Wurzelspitze". Diss. Wien, 1902.

3) Cholodnyi, N., „Zur Frage über die Verteilung der geotropischen Sensibilität in der Wurzel". Ref. Bot. Ztg., 1907, II. Abt.

4) Vgl. auch die letzten Untersuchungen von Haberlandt, G., „Über die Verteilung der geotropischen Sensibilität in der Wurzel", Jahrb. f. wiss. Bot. 1908, Bd. XLV, wo er u. a. zu folgendem Resultate gekommen ist: „Die Wurzel ist von der Spitze an bis in die Wachstumszone hinein geotropisch empfindlich; nur besitzt die erstere „eine weit größere Empfindlichkeit" als die letztere (S. 594)". S. auch Newcombe, Fr., „Gravitation Sensitiveness not Confined to Apex of Root". Beitr. z. Bot. Zentralbl. 1908, Bd. XXIV.

Es scheint vielmehr, daß auch dieses Resultat, die Annahme einer nur quantitativ verschiedenen, aber doch allgemein an dem Organismus verteilten Perzeption das Wesen der Frage gar nicht beeinflussen kann. Für das aufgestellte Problem sollte man vielleicht auf die Tatsache der statischen räumlichen Trennung der Perzeption und Reaktion, sei es in Form von Sinnesorganen und motorischen Teilen, sei es nur in Form von entsprechend spezialisierten Zonen, nicht das Hauptgewicht legen. Die Entscheidung der Frage wäre, wie es mir scheint, lediglich in der Möglichkeit oder Unmöglichkeit einer Trennung beider Funktionen während ihrer Betätigung zu suchen.

Wenn z. B. eine und dieselbe Zone perzeptions- und reaktionsfähig wäre, unter Umständen aber nur die eine oder nur die andere Fähigkeit ausüben könnte, so müßte daraus auf die Trennung von Perzeption und Reaktion gegen den betreffenden Reizanlaß, d. h. auf eine Selbstständigkeit dieser Funktionen und auf eine Möglichkeit der indirekten Reizbarkeit geschlossen werden.

Experimentell läuft diese Fragestellung auf die Frage der Möglichkeit oder Unmöglichkeit einer Reizleitung hinaus, d. h. auf die Möglichkeit oder Unmöglichkeit einer Überleitung der durch den untersuchten Reizanlaß an der einen Stelle ausgelösten Erregung auf eine andere Stelle, die außerhalb des Gebietes der unmittelbaren Einwirkung des Reizanlasses liegt.

Wenn eine Reizleitung bei den Erscheinungen des untersuchten Tropismus zu konstatieren wäre, müßte man ganz unabhängig davon, ob bestimmte Organe oder begrenzte Zonen der Perzeption und Reaktion entdeckt oder nicht entdeckt sind, diesen beiden Momenten des Vorganges eine Selbständigkeit zugestehen.

Die Lokalisierungsmethode läßt die Frage der Reizleitung mit großer Bestimmtheit entscheiden. Ich habe diese Methode auch in den Untersuchungen der Reizleitung beim Aeroïdotropismus angewendet.

Das Resultat, zu dem ich gekommen bin, besteht darin, daß die aeroïdotropische Erregung übergeleitet werden kann, daß man also den aeroïdotropischen Erscheinungen die

indirekte Reizbarkeit nicht absprechen darf. Der Weg, den ich dabei gewählt habe, war der folgende.

Der CO_2-Strom II. Ordnung zeigt keine Wirkung, wenn die Pflanze 1 cm weit von dem Tonrohre entfernt ist; er ruft dann auch keine positive Krümmung hervor[1]).

Auf Grund dieser Tatsache gelangte ich zu folgender Überlegung: wenn bei der Einwirkung des Stromes II. Ordnung auf die in 2 mm Abstand von dem Rohre befindlichen älteren Stengelteile eine normal orientierte, also negative, und normal verlaufende Krümmung in den jüngeren krümmungsfähigeren, aber 1 bis einige Zentimeter weiter entfernten Stengelregionen auftritt, so wird dies unbestreitbar als Erfolg einer übergeleiteten Erregung betrachtet werden können.

Die Krümmungen fangen gewöhnlich (s. Kap. 6) im oberen Teile des wachsenden Sprosses an. Falls eine Reizleitung in der Tat möglich ist, kann man erwarten, den mikroskopisch sichtbaren Anfang der Krümmung oben auftreten zu sehen, nachdem die Reizung einen bis einige Zentimeter tiefer erfolgt ist.

Da CO_2 schwerer ist als Luft, so kann sich der Bereich ihrer unmittelbaren Einwirkung bei der angewandten Diffusionsstärke, wenn er sich seitlich nicht auf die Entfernung von 1 cm erstreckt, noch weniger so weit nach oben erstrecken.

Die Beobachtung hat das Vorhandensein einer Fortpflanzung der aeroïdotropischen Erregung (in apikaler Richtung) bestätigt.

Indem ich die Pflanzen 2, 3, 4 und sogar 5 cm unter der Spitze reizte, konnte ich im Mikroskope, oder auch mit unbewaffnetem Auge, den Anfang der Krümmung, manchmal auch die ganze Reaktionsbewegung unweit der Spitze, mehr als 1 cm entfernt von der gereizten Zone beobachten, wobei der unmittelbar gereizte Teil am Anfang des Versuches seine Stellung gegen das Tonrohr unverändert behielt.

---

1) Nur ein einziges Mal habe ich unter diesen Bedingungen an einem Exemplar von *Helianthus* eine positive Krümmung beobachtet.

Das Mikroskoprohr wurde entweder auf den einen oder auf den anderen Teil der Pflanze gerichtet, je nach der Fragestellung, um das eine Mal ein Vorhandensein der Reaktionsbewegung, ein anderesmal ein Fehlen derselben festzustellen. Einige Beispiele sollen den Vorgang verdeutlichen.

Versuch.

Das Tonrohr ist 2 cm unter der Sproßspitze eines *Helianthus*-Keimlings aufgestellt, ebenso das Mikrometer.

10 Min. nach dem Öffnen des CO_2-Stromes II. O. ist im Mikrometer noch keine Bewegung sichtbar.

Das Mikroskoprohr wird gehoben — wenige Millimeter unter der Sproßspitze hat die Reaktionsbewegung schon angefangen.

Versuch.

Das Tonrohr befindet sich 3 cm tiefer als die Spitze eines 7 cm langen *Helianthus*-Sprosses.

Der Anfang der Reaktionsbewegung findet einige Millimeter unter der Spitze statt, während der unmittelbar gereizte Teil des Sprosses seine Stellung in 2 mm Entfernung von dem Tonrohre ohne Veränderung behält.

Versuch.

Das Tonrohr ist 4 cm unter der Spitze eines Sprosses von *Vicia sativa* aufgestellt; das Mikroskoprohr wird auf denselben Teil des Sprosses gerichtet.

Um 3 h 30′ wurde der CO_2-Strom II. O. geöffnet.

Um 4 h 10′ war die Krümmung oben mit unbewaffnetem Auge gut sichtbar — der unmittelbar gereizte Teil blieb immer zwischen denselben Mikrometerteilstrichen stehen.

Um 4 h 30′ wurde der Strom abgestellt. Die Krümmung verstärkte sich weiter durch Nachwirkung, blieb aber im ganzen auf die 2 cm unter der Spitze beschränkt.

Um 5 h war die Krümmung scharf ausgeprägt (Fig. 8).

Nach 5 h 30′ konnte man die Rückbewegung des Sprosses konstatieren, die ihn allmählich in die normale Lage zurückbrachte.

Fig. 8. Aeroïdotropische Reaktionskrümmung bei *Vicia sativa*, vollzogen außerhalb der Zone der direkten Einwirkung des Reizanlasses.

Der unmittelbar gereizte Sproßteil hatte überhaupt keinen Anteil an der Reaktion genommen.

Versuch.

Ein *Helianthus*-Sproß wurde 5 cm unter der Spitze gereizt.

Das Mikrometerrohr wurde von Anfang an auf den oberen Teil des Sprosses gerichtet, wo die erste Krümmung zu erwarten war, um zu prüfen ob eventuell eine Verspätung des Reaktionsanfanges zu konstatieren wäre. Es wurde jedoch keine Verspätung bemerkbar. — 5 Min. nach dem Öffnen des CO_2-Stromes II. O. war schon eine kleine Strecke in der induzierten Richtung zurückgelegt; weiter ging die Reaktion in der gewöhnlichen Weise vor sich. Nach dem Abstellen des Stromes, bei dem Ausgleichen der Reaktion, wurde die ausgeführte Krümmung mehr als 2 cm höher von der unmittelbar gereizten Stelle fixiert. Dies zeigte, daß das Wachstum schon hier während des Versuches zu Ende gebracht, also die Reizung von der nicht mehr wachsenden Zone perzipiert und mehr als 2 cm nach oben fortgeleitet wurde.

Aus den angeführten Beispielen ist ersichtlich, daß man solche Fälle unterscheiden kann, wo nur der Anfang der Reaktion außerhalb der unmittelbar gereizten Zone zu beobachten ist, späterhin sich aber basalwärts fortschreitend auch auf diese Zone erstreckt, und solche, als deren Beispiele die zwei zuletzt angeführten Versuche dienen können, bei denen die unmittelbar gereizte Zone ganz außer dem Bereiche der Reaktionskrümmung bleibt.

Die zweite Art von Versuchen bestätigen die Ansicht Rothertsʼ[1]), daß die Empfindlichkeit und die Perzeptionsfähigkeit in

1) Rothert l. c., 1896, S. 180.

pflanzlichen Organismen länger bewahrt bleiben können als die Reaktionsfähigkeit.

Da also bei den aeroïdotropischen Erscheinungen, wie die Versuche zeigen, Reizleitung möglich ist, so folgt, daß auch die indirekte Reizbarkeit durch Gase nicht geleugnet werden darf und ebenso eine Trennung von Perzeption und Reaktion während ihrer Betätigung zugestanden werden muß.

Um genaue, objektiv gültige Messungen der Geschwindigkeit der Reizleitung bei Aeroïdotropismus zu erzielen, scheint das Mikroskop ungenügend zu sein; es sind dazu noch Hilfsmethoden nötig. Jedenfalls liegen keine entscheidenden Gründe vor, um diese Geschwindigkeit als eine viel geringere vorauszusetzen als die, welche z. B. von Burdon-Sanderson für die Fortpflanzung der Erregung bei *Dionaea* konstatiert worden ist (200 mm in 1 Sec.)[1]).

Anhang zum zehnten Kapitel.

Die Dekapitierungsmethode als selbständige Methode.

Ehe ich zu den nächstfolgenden Fragen übergehe, möchte ich, ganz abgesehen von der Frage der Trennung von Perzeption und Reaktion, noch einmal mit wenigen Worten der Dekapitierungsmethode gedenken.

Es ist möglich, daß diese Methode einen selbständigen Wert bekommen könnte, in dem Sinne, wie verschiedene operative Eingriffe in der Tierphysiologie seit längerer Zeit schon einen solchen besitzen.

Das Dekapitieren könnte in den Lauf dieses oder jenes Prozesses modifizierend eingreifen und in dieser Weise das Lebens-

1) Burdon-Sanderson, J., „Die elektrischen Erscheinungen am *Dionaea*-Blatt", Biol. Centralbl. 1882, Bd. II, sowie 1889, Bd. IX.; s. auch Biedermann, W., „Elektrophysiologie", 1895, Bd. II, S. 441 ff.

gleichgewicht zerstören, das öfters die tatsächlich vorhandene Mannigfaltigkeit durch eine scheinbare Einheit für den Forscher unerkennbar macht.

Diese Methode könnte wohl einen großen Wert erwerben, wenn sie als Mittel zum Schaffen von Schwankungen im Betriebe des Pflanzenlebens dienen könnte, die das Ganze nicht vernichten, sondern seine Bestandteile auseinanderbringen und erkennbar machen.

Von diesem Standpunkte aus möchte ich hier über einige Besonderheiten kurz berichten, die sich, wie früher erwähnt, bei den Dekapitierungsversuchen mit Sprossen beobachten ließen.

Es sei nur betont, daß ich sie in keinem Fall verallgemeinern möchte; sie sollen nur als einige Gelegenheitsbeobachtungen in etwas mehr als 30 Versuchen mit dekapitierten Pflanzen, die ich angestellt habe, gelten.

Das Dekapitieren erfolgte mittels eines scharfen Rasiermessers.

Anfangs wurden die Reizungsversuche erst nach 24 Stunden, manchmal sogar 48 Stunden nach dem Dekapitieren angestellt. Es erwies sich aber, daß auch ohne diese Ruheperioden Reaktionen erzielt werden konnten: man konnte die Reaktionsbewegungen schon 1 Stunde nach der Operation auslösen.

Die Methodik der Versuche war sonst der bei intakten Pflanzen gleich. Als Reizanlaß wurde CO_2 gebraucht. Die Beobachtungen, die dabei gemacht wurden, waren folgende:

1. Die Krümmungen bei den dekapitierten Pflanzen schritten nie so weit basalwärts wie bei den intakten.

Dies schien jedenfalls zu einer Verkürzung der wachsenden Zone in Beziehung zu stehen.

Die Fixierungen der Krümmungen konnten immer als deutliches Merkmal für die Abgrenzung der Wachstumszone dienen. Hier, bei den dekapitierten Pflanzen, vollzogen sich die Fixierungen merkwürdig hoch am Sprosse.

Die untenstehende Figur (Fig. 9) kann als typisches Bild eines reagierenden dekapitierten Sprosses dienen. Sie wurde nach einem

Sprosse gezeichnet, der 5 mm unterhalb der Kotyledonen dekapitiert und dann gereizt worden war.

Dank dieser Abgrenzung der Wachstumszone im oberen Teil des Sprosses können die dekapitierten Pflanzen als geeignete Objekte für das Beobachten der apikalen Fortpflanzung der Erregung dienen.

2. Als Reizanlaß wurden hier gewöhnlich CO_2-Ströme II. O., manchmal auch stärkere gebraucht. Unter ihrer Einwirkung wurden negative Krümmungen ausgeführt.

Positive Krümmungen sind jedoch nicht ausgeschlossen. So habe ich an einem kräftigen Sproß von *Vicia faba* nach dem Dekapitieren und Reizen bei einer halbstündigen Einwirkung des CO_2-Stromes II. O. eine ausgesprochene, 1 h 30′ dauernde Zukrümmung nach dem Diffusionsrohr hin beobachtet.

Fig. 9. Aeroïdotropische Reaktionskrümmung an einem dekapitierten Sprosse von *Helianthus*.

Wiederum entsteht hier die Frage, ob bei verschiedenen operativen Eingriffen die Reizschwelle für die negativen Krümmungen nicht verschoben sein könnte.

3. Der Anfang der Bewegung (also die Reaktionszeit) zeigte bei den dekapitierten Pflanzen keine Verspätung gegen die intakten. Ebenso wie bei intakten wurde bei der Einwirkung von CO_2-Strömen II. O. nach 5 Min. eine kleine Strecke von 0,5—1 Mikrometerteilen zurückgelegt; bei den stärkeren Strömen wurde die Wegkrümmung schon während der ersten Minute sichtbar.

Aber die Reaktionsintensitäten fielen bei denselben Reizstärken geringer aus, und die Reaktionshöhe wurde früher als bei den intakten Pflanzen erreicht, d. h. auch stärkere Ströme vermochten keine viel größeren Reaktionen auszulösen.

Im allgemeinen war also die Amplitude der möglichen Schwankungen der Reaktionsintensitäten hier auf engere Rahmen eingeschränkt.

Bei den größten Reaktionen, die ich beobachtet habe, bildete die Reaktionslage keinen größeren Winkel als 45° mit der Normallage.

Ob dies nur mit dem geschwächten Wachstum in Verbindung gebracht werden darf, ist noch zu entscheiden; unzweifelhaft ist, daß das mikroskopisch konstatierte Schwächerwerden des Wachstums dabei eine Rolle spielt.

4. Endlich schienen die Nachwirkungen im Verlauf des Reaktionsprozesses etwas modifiziert zu werden. In den meisten Fällen konnte ich keine starken Nachwirkungen beobachten. Nach dem Abstellen des Stromes folgte gewöhnlich entweder eine beträchtliche Verlangsamung der Bewegung oder sogar sofort ein Stillstand, so daß dann die ganze Nachwirkung sich in längerem Stillstand und nicht in weiterer Bewegung äußerte, worauf sich die Spitze in die normale Lage zurückzog. Fast immer blieb die Krümmung in ihrem unteren Teile fixiert.

Im allgemeinen aber war auch hier der Charakter der Reaktion dem bei den intakten Pflanzen gleich.

Wie gesagt sind das nur gelegentliche Beobachtungen, da die Dekapitierungsversuche von mir eigentlich für einen anderen Zweck angestellt wurden.

Elftes Kapitel.

Zur Frage der Präsentations- und Reaktionszeit mit besonderer Berücksichtigung der geotropischen Reizerscheinungen.

Die Begriffe der Präsentations- und Reaktionszeit wurden in die Pflanzenphysiologie hauptsächlich durch Czapek eingeführt[1]). In

1) Czapek, Fr., „Weitere Beiträge zur Kenntnis der geotropischen Reizbewegungen“. Jahrb. f. wiss. Bot., 1898, Bd. XXXII. — Ders., „Über den Vorgang der geotropischen Reizperzeption in der Wurzelspitze“. Ber. d. D. Bot. Ges., 1901, Bd. XIX.

der letzten Zeit wurden sie besonders eingehend von Fitting besprochen[1]). Bach hat die Präsentations- und Reaktionszeit auf ihre Abhängigkeit von verschiedenen äußeren Faktoren untersucht[2]).

Unter Präsentationszeit versteht man die Zeitdauer, „welche nötig ist, um eine Erregung zu induzieren, die nach der Sistierung des Reizes eine eben merkliche Nachwirkungsbewegung zur Folge hat“[3]).

Als Reaktionszeit bezeichnet man das Zeitintervall zwischen dem Anfang der Reizung und dem Beginn der Reaktionsbewegung.

Die Reaktionszeit ist ein Begriff, der schon längst in der Wissenschaft eingebürgert ist und einen ganz bestimmten Sinn hat. Anders verhält es sich mit dem Begriffe der Präsentationszeit.

I. Ihr Wesen und ihre Begrenzung scheinen mir weder experimentell noch theoretisch sicher zu sein.

Es ist von Interesse, einige vergleichende Beispiele ihrer experimentellen Bestimmung anzuführen.

Für Hypokotyle von *Helianthus annuus* hat Czapek die Präsentationszeit für Geotropismus zu 20 Min. festgestellt[4]); Fitting für dasselbe Objekt zu 5—6 Min.[5]); Bach zu ungefähr 3 Min.[6]).

Für Epikotyle von *Phaseolus multiflorus* beträgt sie nach Czapek 50 Min.; nach Fitting 6—7 Min.; nach Bach 3—4 Min.

Diese Mannigfaltigkeit der experimentellen Angaben wird verständlich, wenn man die Art und Weise ihrer Gewinnung näher betrachtet.

1. Aus der angeführten Definition der Präsentationszeit ist ersichtlich, daß für ihre experimentelle Feststellung das Erscheinen

1) Fitting, H., „Untersuchungen über den geotropischen Reizvorgang“. Jahrb. f. wiss. Bot., 1905, Bd. XLI.

2) Bach, H., „Über die Abhängigkeit der geotropischen Präsentations- und Reaktionszeit von verschiedenen äußeren Faktoren“. Jahrb. f. wiss. Bot., 1907, Bd. XLIV.

3) Pfeffer, W., „Pfl.-Phys.“, 1904, S. 623; s. auch Fitting l. c., 1905, S. 285.

4) Czapek l. c., 1898, S. 185.

5) Fitting l. c., 1905, S. 394.

6) Bach l. c., 1905, S. 63; s. auch S. 64, 65.

oder Nichterscheinen der Reaktionsbewegung als Nachwirkung maßgebend ist.

Die Reaktionsbewegung ist aber, ganz abgesehen von der Wirkung des untersuchten Reizanlasses und von den durch ihn ausgelösten Prozessen, durch viele andere äußere und innere Faktoren, wie Wachstum Nutation usw. mitbestimmt. Diese Faktoren greifen als Hemmungen oder Förderungen oder auch als Reize[1]) in die Bewegungsprozesse ein, die durch den untersuchten Reiz ausgelöst worden sind. Indem sie den einen oder den anderen Teil des Prozesses beschleunigen, verlangsamen oder sogar unterdrücken, schaffen sie zeitliche Differenzen in den an einem oder an verschiedenen Objekten beobachteten Reizerscheinungen. Diese zeitliche Differenzen, welche durch die Versuchsbedingungen hervorgerufen sein können, dürfen aber nicht ohne weiteres auf die zeitlichen Differenzen und zeitlichen Beziehungen der einzelnen Teile der durch den untersuchten Reizanlaß ausgelösten inneren Prozesse übertragen werden.

Der Einfluß dieser selbständigen parallelwirkenden Faktoren muß möglichst weit differenziert und ihre Wirkungsfolgen von einander getrennt werden. Dies ist aber bei den experimentellen Bestimmungen der Präsentationszeit nirgends berücksichtigt. Auch hier bleiben z. B. die Bedingungen der Nutation und des Wachstums der untersuchten Pflanzen ganz unbekannt. Ohne ihre Berücksichtigung aber können die angeführten Zahlen keinen relativen Wert haben.

2. Zudem finden wir in der angeführten Definition, daß die experimentelle Bestimmung der Präsentationszeit nicht von der Bewegung überhaupt, sondern von der „eben merklichen" Bewegung als Nachwirkung abhängig gemacht wird.

Diese „eben merkliche" Bewegung wird aber mit dem unbewaffnetem Auge des Forschers festgestellt.

Die Angaben über die „eben merklichen Bewegungen" auf Grund der Beobachtung mit unbewaffnetem Auge können

---

1) S. Jost, „Pfl.-Phys.", 1908, S. 509.

aber ebensowenig als wissenschaftlich gültige anerkannt werden, wie etwa die Bestimmungen der eben merklichen Temperatur- oder Druckverhältnisse in unseren Experimenten auf Grund von Angaben unserer unmittelbaren Temperatur- oder Druck- und Tastwahrnehmungen.

In allen diesen Fällen fordern die Messungen mit gleichem Rechte eine empfindlichere und „objektivere" Vermittlung. — Der Gebrauch des Ablesemikroskopes müßte als eine notwendige Forderung für die Bestimmung der kleinen Bewegungserscheinungen anerkannt werden, da nur auf diesem Wege eine deutliche und der Prüfung zugängliche Genauigkeit erzielt werden kann.

Die angeführten experimentellen Bestimmungen der Präsentationszeit werden also auch von diesem methodischen Standpunkte aus, der für die vergleichbaren Messungen bestimmte Forderungen stellt, als unzureichend erscheinen.

Wie der Begriff der Präsentationszeit experimentell nicht exakt festgestellt ist, so bleibt er auch theoretisch seinem Wesen nach undeutlich.

Eine Kritik des bisherigen Gebrauches dieses Begriffes ist teilweise in der oben erwähnten Arbeit von Fitting zu finden. Nach den kritischen Bemerkungen versucht Fitting selbst „das Wesen der Präsentationszeit" näher zu bestimmen, indem er sie in eine direkte Beziehung zur „Reaktionszeit" und zur „Relaxationszeit" stellt [1]). Folgende Formel soll dieser Beziehung Ausdruck geben:

$$\text{die Präsentationszeit} > \frac{y}{x+1}$$

Dabei soll y die Reaktionzeit in Minuten, x das Verhältnis der Relaxationszeit zur Präsentationszeit bezeichnen [2]).

1) Fitting, H., l. c., 1905, Abschn. XII, S. 362 ff. „Relaxationszeit" ist nach Fitting die Zeitdauer, während der „die auf die Reaktion hinzielenden Vorgänge, bezw. die Reaktionsvorgänge selbst . . . so weit ausklingen, daß bei intermittierender Wiederholung gleicher Reizungen die Krümmung nicht dauernd verstärkt wird" (S. 341). Die Präsentationszeit bei intermittierender Reizung ist nach Fitting der bei kontinuierlicher Reizung gleich (s. z. B. S. 357).

2) Was aus der Ausgangsformel: Präs.-Z. : Relax.-Z. = 1 : x folgt, S. 364, Anm.

Das Wesen der Präsentationszeit scheint mir aber auch durch diese Beziehung noch nicht aufgehellt, und zwar deshalb, weil das Wesen der „Relaxationszeit" selbst noch einer Begründung harrt, und darum schwerlich zur Verdeutlichung eines anderen Begriffes dienen kann [1]).

Die vier Punkte, von denen nach Fittings Meinung (S. 363) die Präsentationszeit abhängig sein könnte (1. „die Perzeptionszeit": 2. „die Intensität der Perzeption und der Erregung"; 3. „das Abklingen der Erregung, das Abklingen der Reaktion (Relaxationszeit)": 4. die „Reaktionszeit"), scheinen mir für ihr Verständnis noch nicht genügend. Man braucht z. B. nur die Erwägungen Rotherts [2]) zu berücksichtigen, der nicht nur zwischen Erregungsprozessen und Reaktionsprozessen unterscheidet, sondern sie so zu sagen verdoppelt, indem er noch, und wie mir scheint mit vollem Rechte, die Prozesse der Empfindlichkeit und die der „Reizbarkeit" von einander trennt [3]).

II. Der Begriff der Reaktionszeit hat, wie schon erwähnt war, einen festen Sinn, obwohl seine experimentelle Bestimmung aus denselben, schon für die experimentelle Bestimmungen der Präsentationszeit erwähnten Gründen nicht weniger als die der Präsentationszeit schwankt [4]): nämlich 1. wegen Mangel an Differentiation verschiedener Faktoren, die mit dem Reizanlasse auf die Reaktionsbewegung parallel wirken, und 2. wegen der Beobachtungen der ebenmerklichen, erst anfangenden Bewegungen mit unbewaffnetem Auge. Wenn man aber diese Mängel beseitigen wollte, so könnte die wissenschaftliche Bearbeitung der „Reaktionszeit" die Grundlage für jede weitere Differentiation des Reizvorganges bieten.

1) Wie dunkel das Wesen der Relaxationszeit ist, kann man deutlich aus mehreren Stellen der Arbeit von Fitting sehen; vgl. z. B. die Anm. S. 342—343.

2) Rothert l. c., 1896, § 69, S. 164 ff.

3) Eine analoge Scheidung hat Noll in seiner Schrift „Über heterogene Induktion", Leipzig 1892, angedeutet.

4) S. z. B. Bach l. c., 1907. u. A.

Es ist nicht wünschenswert, diese Schwankungen ohne weiteres auf die Schwankungen der „Empfindlichkeit" zurückzuführen, so lange man ganz reelle, der experimentellen direkten Untersuchung zugängliche Gründe dafür finden kann.

Im Gebiet der taktischen Erscheinungen, auf dem die Versuche immer mit Hilfe des Mikroskops ausgeführt worden sind, und wo wir, z. B. bei PFEFFER[1]), Ausgangspunkte für die meisten gegenwärtigen Probleme der Tropismen finden, wurden die Reaktionszeiten von Anfang an als ganz minimale, nur wenige Sekunden dauernde festgestellt.

Für die tropistischen Erscheinungen hingegen, bei denen das unbewaffnete Auge meistens (aus nur „psychologisch" erklärlichen Gründen) für die Beobachtung genügend schien, wurden die Reaktionszeiten (mit wenigen Ausnahmen, so bei Ranken[2]) sehr groß gefunden. So können nach CZAPEK[3]) die Reaktionszeiten für den Geotropismus nicht kleiner als 20 Min. ausfallen; gewöhnlich aber werden sie als noch viel größer, bis zur Dauer von 1 Stunde und mehr, angegeben[4]).

Mir schien es zweifelhaft daß die Reizbarkeit höherer Pflanzen, gutes Wachstum als notwendige Bedingung des „Sichtbarwerdens" der Reaktionsbewegung vorausgesetzt, viel geringer sein sollte als die der niedrigeren Organismen.

In den Versuchen, die ich ausgeführt habe, hat in der Tat die mikroskopische Beobachtung keine viel größeren Werte für die Reaktionszeiten der höheren Pflanzen als für die bei den taktischen Erscheinungen beobachteten ergeben.

Es ist schon erwähnt worden, daß im Gebiete der aeroïdotropischen Untersuchungen bei Einwirkung stärkerer Ströme des als Reiz wirkenden Gases die Reaktionsbewegung im Mikroskop

1) PFEFFER, W., „Lokomotorische Richtungsbewegungen durch chemische Reize", Ber. d. D. Bot. Ges., 1883, Bd. I.; Unters. aus d. Bot. Inst. zu Tübingen, 1885, Bd. I. Sowie Ders. l. c., 1888.

2) S. z. B. PFEFFER, W., „Zur Kenntnis der Kontaktreize", Unters. aus d. Bot. Inst. zu Tübingen, 1885, Bd. I; sowie Ders., „Pfl.-Phys.", 1904, Bd. II, S. 622—623. Auch die Untersuchungen mit Ranken von FITTING: Jahrb. für wiss. Bot. 1903, 1904.

3) CZAPEK l. c., 1901.

4) CZAPEK l. c., 1898, S. 186; BACH l. c., 1907, u. A.

sofort nach der Reizung sichtbar wurde. Die Frage der Reaktionszeit ist aber am meisten bei den geotropischen Erscheinungen diskutiert worden. Deshalb habe ich für nötig gefunden, in diesem Kapitel hauptsächlich geotropische Erscheinungen in Betracht zu ziehen.

Einstweilen habe ich Versuche nur mit der Schwerkraft g ausgeführt, dabei aber auch ganz minimale Reaktionszeiten erwartet, da die Größe g die für die Schwerkraft bestimmte Reizschwelle von 0,001 g[1]) bedeutend übersteigt, also einen Reizanlaß großer Intensität darstellt.

Meine Versuchsanordnung hat mir erlaubt, viele störende Bewegungen, wie Nutationsbewegungen, Senkbewegungen, elastische Durchbiegung und elastische Ausgleichung von der eigentlichen Reaktionsbewegung zu trennen.

Dabei haben sich die Reaktionszeiten bei der Intensität der Schwerkraft g und einer Reizdauer von 1 Min. an, das Wachstum der Keimlinge vorausgesetzt, jedenfalls nicht größer als 8—10 Sekunden (die ich für das genaue Einstellen des Auges auf die Mikrometerskalastriche brauchte) erwiesen.

Ich hoffe, daß die folgenden Versuchsangaben diese Kürze der Reaktionszeiten genügend begründen werden.

Der Gang der geotropischen Reaktion trägt im allgemeinen denselben Charakter wie der der früher angegebenen aeroïdotropischen.

Und ebenso wie dort sind die geotropischen Krümmungen Wachstumserscheinungen[2]).

Zuerst muß auch hier einiges über die methodischen Forderungen für die Versuche dieser Art gesagt werden.

1) Czapek l. c., 1898, S. 193.

2) Dasselbe wurde neuerdings von Porodko von einem anderen Standpunkte aus bestätigt. S. Porodko, Th., „Nimmt die ausgewachsene Region des orthotropen Stengels an der geotropischen Krümmung teil?“ Ber. d. D. Bot. Ges., 1908.

Im Jahre 1905 ist eine Arbeit, vielmehr eine kurze Mitteilung, von Moisescu erschienen, in der das erste Mal das Horizontalmikroskop für das Bestimmen von Reaktionszeiten bei den geotropischen Erscheinungen der höheren Pflanzen angewendet wurde[1]).

Moisescu hat mit Wurzeln gearbeitet und kam zu dem Schluß, daß die Reaktionsbewegung der Wurzeln schon in der ersten Minute anfängt.

Obwohl dieser Schluß von Moisescu für die Wurzeln den Ergebnisssen meiner Versuche mit Sprossen entspricht, kann dies nur als ein zufälliges Zusammentreffen angesehen werden, da die Versuchsanordnung von Moisescu ihm keinen Grund für den von ihm vollzogenen Schluß geben konnte.

Die Wurzeln wurden von Moisescu „so schnell wie möglich (!) aus den Töpfen ausgezogen" und in der horizontalen Lage fixiert[2])

Er beobachtete dann im Mikroskop ein sofortiges und fortdauerndes Sichsenken der Wurzelspitze, das er als „Folge der Krümmungsbewegung in der Aktionszone"[3]) ansah.

In der Tat aber zeigt auch der Stengel, sobald er in horizontale Lage gebracht wird, eine sofortige und fortdauernde Senkung, wie ich an vielen Versuchen mit *Kresse* und *Helianthus* beobachten konnte. Diese Senkung ist in dem einen wie in dem anderen Falle eine rein mechanische Senkung des Körpers, der unter dem Einfluß seines Eigengewichtes eine „Durchbiegung" erfährt.

Also, wenn auch die Wurzeln eine negativ geotropische Krümmung sehr bald nach dem Reize anfangen, was an sich sehr wahrscheinlich ist (obgleich nicht unmittelbar nach den Gewalttaten des „so schnell wie möglichen" Ausziehens der Wurzeln aus den Töpfen, was gewiß auf das Wachstum und also auch auf die Reaktionsfähigkeit nicht ohne starken Einfluß bleiben konnte), so mußte diese

1) Moisescu, N., „Kleine Mitteilung über die Anwendung des horizontalen Mikroskopes zur Bestimmung der Reaktionszeit". Ber. d. D. Bot. Ges., 1905, Bd. XXIII.

2) Moisescu l. c., 1905, S. 365.

3) Ders., l. c. 1905, S. 366.

Reaktionskrümmung bei der Versuchsanordnung von Moisescu durch mechanisches Sinken jedenfalls verdeckt werden, und darum erlauben seine Versuche keinen Schluß auf die Dauer der Reaktionszeiten.

Bach versuchte diese Experimente von Moisescu einer Prüfung zu unterwerfen [1]). Er hat nicht nur Wurzeln, sondern auch Stengel als Objekte der Untersuchung gebraucht, und hat, wenigstens teilweise, die mechanischen Folgen der Horizontallegung des schweren Körpers in Betracht gezogen. Er hat aber keine Maßregeln für den völligen Ausschluß der mechanischen Einwirkung der Schwerkraft vorgenommen. Ebenso bleiben bei ihm, wie bei Moisescu und anderen Autoren bei ihren Bestimmungen von Reaktionszeiten, die Bedingungen des Wachstums und der Nutation der untersuchten Keimlinge vollständig unberücksichtigt. Darum können seine Versuche keine Klarheit in die aufgestellte Frage bringen. — Jedenfalls sind bei ihm die mikroskopisch bestimmten Reaktionszeiten, obwohl noch immer sehr groß, wegen der unzureichenden Methodik doch öfters zweimal so klein und manchmal noch kleiner als die makroskopisch festgestellten. Er will freilich diesen Tatsachen keine Bedeutung beilegen. Er versucht die viel kürzeren mikroskopisch bestimmten Reaktionszeiten auf „Nutationen" zurückzuführen [2]) und behauptet außerdem, daß „absolute Werte" der Reaktionszeiten eigentlich „vollständig gleichgültig" seien, da es sich für die Reizphysiologie hauptsächlich um „relative Werte" handele [3]).

Das erste aber, nämlich daß wenn die Krümmung schon während der ersten Minute anfängt, dies als „Nutation" betrachtet werden soll, bleibt ohne eine vorhergehende Untersuchung der Nutationsverhältnisse der Versuchungspflanze nur eine wenig begründete Vermutung. Das zweite, daß die „absoluten Werte" der Reaktionszeiten „vollständig gleichgültig" seien, ist ein großer Irrtum: „absolute Werte" zu bekommen wird gewiß im Falle der Bestimmung der

1) Bach l. c., 1907, Kap. VII, S. 113ff.
2) Bach l. c., 1907, S. 117.
3) Ders. l. c., 1907, S. 114.

Reaktionszeiten wie auch in vielen anderen Fällen, so wünschenswert es auch sein könnte, leider nicht möglich sein, aber sich diesen so weit als möglich zu nähern ist in diesem Falle, wie in den meisten anderen, von größter Wichtigkeit. Ich will nur einen Fall anführen, in dem es von außerordentlicher Bedeutung ist, ob die Reaktionszeit 5 Min. oder 40 Min. (solche Differenzen sind bei Bach vorhanden) beträgt, nämlich das ganze Gebiet der Experimente mit intermittierenden Reizen. Es ist ja selbstverständlich, daß die Dauer einer jeden einzelnen intermittierenden Reizung kleiner sein muß als die der Reaktionszeit [1]). Wenn man sich aber mit kaum als annähernd zu bezeichnenden Reaktionswerten zufrieden gibt und die Reaktionszeit z. B. gleich 10 Min. annimmt, obwohl die Reaktion schon nach 5 Min., vielleicht noch eher vorhanden, nur für das unbewaffnete Auge noch nicht sichtbar ist, so werden alle weiteren Versuche, Schlüsse und Beziehungen, z. B. zwischen Reizungszeit und Ruhezeit bei Intermittenz u. a. m., ganz unbrauchbar sein.

Dies ist nur ein Fall, der eine möglichst präzise Bestimmung der Reaktionszeit als unbedingte Voraussetzung der wissenschaftlichen Untersuchung fordert. Man könnte aber noch vieler Probleme der Reizphysiologie gedenken, für welche dies nicht weniger wichtig ist, so für die Bestimmung der Schnelligkeit der Erregungsleitung, für das Studium der Reizschwelle usw.

Es ist also eine unumgängliche Forderung für die wissenschaftliche Untersuchung, bei der Bestimmung der Größe der Reaktionszeit, wie bei der Bestimmung anderer Größen der Reizphysiologie, die größtmöglichste Annäherung an die „absoluten Werte" anzustreben, da nur in diesem Falle die Ergebnisse auch einen wirklichen „relativen Wert" im Vergleich zu einander haben können.

Aus schon vorhin erwähnten Gründen habe ich auch hier nicht Wurzeln, sondern Sprosse als geeigneteres Material für eine methodisch einwandfreiere Untersuchung der Frage vorgezogen.

1) Über die intermittierende Reizung s. später das zwölfte Kapitel: „Zur Frage der Perzeptionszeit".

Die Versuche wurden in folgender Weise angestellt:

Ein Töpfchen mit dem Keimling wird so befestigt, daß man es in einer bestimmten Richtung senkrecht zu dem Mikroskoprohr hinlegen und dann wieder aufstellen kann.

Der Keimling wird auf diese Weise für 1, 2, 3 Min. hingelegt, dann wieder aufgerichtet und die Reaktion unmittelbar nach dem Aufrichten als Nachwirkung untersucht.

Es muß also die reagierende Bewegung dabei 1. der Senkbewegung entgegen sich vollziehen und 2. den Sproß aus seiner normalen vertikalen Lage bringen.

Ein schüttelfreies, ruhiges Hinlegen unter beliebigem Winkel zur Vertikale und dann genaues Aufstellen des Sprosses in die ursprüngliche Lage kann z. B. folgendermaßen erzielt werden:

Man befestigt eine Drehscheibe, wie sie zur Herstellung von Lackringen an Präparaten gebräuchlich ist (Fig. 10 A.) an einem

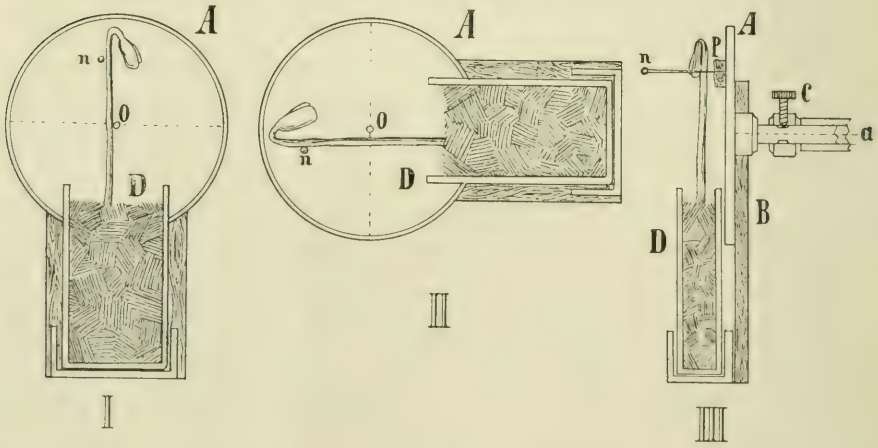


Fig. 10.
Einrichtung für die Untersuchung der Reaktionszeit der Sprosse beim Geotropismus.

Stativ in der Weise, daß ihre Drehachse a horizontal verläuft und die Scheibe in der vertikalen Ebene gedreht werden kann.

An der Drehscheibe wird noch ein hölzernes Brettchen B angebracht.

Die zu untersuchenden Pflanzen werden in kleinen flachen Glasgefäßen (es können z. B. Färbekästen dazu dienen) gezogen. Das Versuchsexemplar wird rechtzeitig mittelst einer einfachen Einrichtung (s. Fig. 10) an der Scheibe auf dem Holzbrettchen B parallel zur Drehscheibe befestigt.

Indem man die Drehscheibe um ihre Achse dreht, kann man die Pflanze in verschiedene Lagen zu der Vertikale bringen und in jeder beliebigen Lage mittelst der Schraube C befestigen.

Jede Pflanze wurde, wie gewöhnlich, zuerst eine bestimmte Zeit auf Wachstum und Nutation untersucht. Bei allen Versuchen, ohne jede Ausnahme, haben sich nur wachsende Pflanzen reaktionsfähig erwiesen.

Der wichtigste Einwand gegen die angeführte Versuchsanordnung war, daß hier die Elastizität des Sprosses bis zu einem gewissen Grade eine gleichgerichtete Bewegung herbeiführen kann und es in der Tat tut. Beim Hinlegen erfährt der Körper eine elastische Durchbiegung, die nach dem Aufstellen des Sprosses ausgeglichen werden muß.

Diese Bewegung konnte ich durch Unterstützung des Keimlings während der Horizontallage beseitigen. Aber die Unterstützung bringt neue Reizeinwirkungen, z. B. die Einwirkung durch Kontakt (s. später), mit sich. Darum habe ich vorgezogen, im allgemeinen ohne Unterstützung zu arbeiten. Es wurden aber auch Versuche mit Unterstützung ausgeführt, um auch von dieser Seite jeden Zweifel über die Kürze der Reaktionszeiten zum Fortfall zu bringen.

Außerdem habe ich mittelst entsprechender Versuche auch an nichtreaktionsfähigen Pflanzen und elastischen anorganischen Substanzen (so an langen Streifen von Karton und an Eisendraht) die elastischen Rückbewegungen mikroskopisch studiert, so daß ich sie vollkommen von den Reaktionsbewegungen unterscheiden konnte.

Da ich neben der Frage der geotropischen Reaktionszeiten den Gang des ganzen Prozesses, so wie ich es in aeroïdotropischen Untersuchungen gemacht habe, zahlenmäßig ausdrücken wollte, war mir zuerst von Wichtigkeit, den allgemeinen Charakter der elastischen Ausgleichungen im ganzen zu bestimmen, um sie von der Reaktion im ganzen unterscheiden zu können.

Es war also von Wichtigkeit, den ganzen Prozeß der elastischen Ausgleichung mit dem ganzen Prozeß der von mir beobachteten Reaktionen zu vergleichen.

Die Ergebnisse der Versuche zeigen, daß die elastischen Ausgleichungen der Durchbiegung einen ganz anderen Charakter tragen als die geotropischen Reaktionsbewegungen.

Um den Prozeß der elastischen Ausgleichung zu verdeutlichen, führe ich zuerst die elastischen Ausgleichungen in Versuchen mit elastischen anorganischen Substanzen an, und zwar mit Karton und Draht, die, in langen und dünnen Abschnitten genommen, untersucht wurden. Dann folgen Versuche mit nicht reaktionsfähigen pflanzlichen Objekten.

Ich habe absichtlich längere Streifen zur Untersuchung gebraucht, weil bei ihnen die elastische Biegung und Ausgleichung schärfer als bei den kürzeren zum Ausdruck kommt und der Charakter der elastischen Ausgleichung schärfer ausgeprägt ist.

Die Bedingungen der Versuchsanordnung waren bei den Versuchen mit anorganischen Substanzen dieselben wie mit den pflanzlichen Objekten.

Versuche mit Karton.

Ein Kartonstreifen (23,5 cm hoch, 0,75 cm breit, 0,2 cm dick[1])) als Objekt der Untersuchung:

I. Für 1 Min. horizontal gelegt, dann aufgestellt und nach dem Aufstellen sofort untersucht. (Auch hier gingen nur 8—10 Sekunden — für das Einstellen des Auges auf die Mikrometerteilstriche — für die Beobachtung verloren).

1) Mikroskopisch bestimmt.

	Zeit	Mikrometer
Sproß aufgestellt:	0,0	40
	0,5'	38,7
	1'	38,4
	1,5'	38
	2'	Dasselbe
	3'	Dasselbe
		usw.

II. Für 3 Min. horizontal gelegt.

	Zeit	Mikrometer
Aufgestellt:	0,0	40
	0,5'	39
	1'	38,7
	1,5'	38,5
	2'	38,4
	3'	Dasselbe
	4'	Dasselbe
	5'	Dasselbe
	6'	Dasselbe
		usw.

III. Für 10 Min. horizontal gelegt.

	Zeit	Mikrometer
Aufgestellt:	0,0	40
	0,5'	38,7
	1'	38,5
	1,5'	38,4
	2'	Dasselbe
	3'	Dasselbe
	4'	Dasselbe
	5'	Dasselbe
		usw.

Sogar bei 45 Min. horizontaler Lage war die elastische Ausgleichung nur um 1 Mikrometerteil größer geworden.

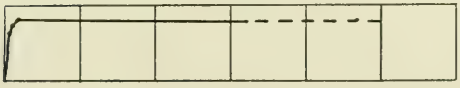
Ich gebe die Ausgleichungen in Kurven an, um einen übersichtlichen Vergleich dieser Versuche mit den Reaktionszeitversuchen und den Reaktionskurven im ganzen möglich zu machen (Kurven IV, V, VI). Absichtlich nahm ich hier, wie auch in den nächstfolgenden Versuchen für die speziellere Bestimmung der Reaktionszeit, eine

$2^1/_2$ mal stärkere Vergrößerung der räumlichen Beziehungen für die Kurven, als für die früher angegebenen Kurven bei den aeroïdotropischen Gesamtvorgängen und für die folgenden Kurven des geotropischen Gesamtvorganges, die denen des aeroïdotropischen vollkommen analog konstruiert worden sind. Denn die Beobachtungen wurden hier nicht alle 5 Min., sondern jede Minute und noch öfter vollzogen. Es war von Bedeutung, die entsprechenden Strecken in jeder einzelnen Minute zu notieren.

In den folgenden Kurven also gibt 1 mm der Abszisse wie überall 1′ Zeit; aber jede 5 (nicht 2) mm der Ordinaten 1 Mikrometerteil an.

Kurve IV.

Kurve V.



Kurve VI.

Elastische Ausgleichungen der Durchbiegung eines Kartonstreifens. (Orig.-Gr.).

Genau denselben Charakter zeigten die Versuche mit Draht.

Versuche mit Draht.

Länge 20 cm, Durchmesser 1 mm (mikroskopisch festgestellt).

I. $^1/_2$ Min. horizontaler Lage.

	Zeit	Mikrometer
Aufgestellt:	0,0	40
	0,5′	39,7
	1′	39,5

Zeit	Mikrometer
1,5'	39,4
2'	39,2
3'	39
4'	Dasselbe
5'	Dasselbe
	usw.

II. 1 Min. horizontaler Lage.

	Zeit	Mikrometer
Aufgestellt:	0,0	40
	0,5'	39,4
	1'	39,5
	1,5'	39,4
	2'	39,2
	3'	39
	4'	Dasselbe
	5'	Dasselbe
		usw.

III. 3 Min. horizontaler Lage.

	Zeit	Mikrometer
Aufgestellt:	0,0	40
	0,5'	39,7
	1'	39,4
	2'	39,1
	3'	Dasselbe
	4'	38,7
	5'	Dasselbe
	6'	Dasselbe
	7'	Dasselbe
	8'	Dasselbe
		usw.

IV. 10 Min. horizontaler Lage.

	Zeit	Mikrometer
Aufgestellt:	0,0	40
	0,5'	39,5
	1'	39,2
	2'	38,9
	3'	38,6
	4'	Dasselbe
	5'	Dasselbe
		usw.

V. 30 Min. horizontaler Lage.

	Zeit	Mikrometer
Aufgestellt:	0,0	40
	0,5'	39,4
	1'	39,2
	2'	39,1
	3'	38,8
	4'	Dasselbe
	5'	Dasselbe
		usw.

Die elastische Ausgleichung dauert also eine kurze Zeit, in der sie vollständig ausklingt.

Die Dauer der horizontalen Lage läßt sich in der Intensität der elastischen Ausgleichung kaum aufweisen. So sind die Ausgleichungsbewegungsgrößen bei 1, 3, 10, 30 Min. Exposition beinahe gleich.

Von größerer Wichtigkeit waren die Versuche über die Elastizität pflanzlicher Objekte.

Als nichtreaktionsfähige Pflanzen habe ich einerseits nichtwachsende, aber vollkommen turgeszente Sprosse von *Helianthus* und einigen anderen Dikotylen gebraucht, andererseits *Gramineen-Keimlinge* nach dem Durchbrechen des Kotyledo, die in dieser Entwicklungsstadie keine geotropischen Reaktionen zeigen [1]).

Ich habe Pflanzen derselben Größe und auch längere, als ich für die geotropischen Versuche gebrauchte, benutzt, da die elastische Durchbiegung und die elastische Ausgleichung, wie selbstverständlich ist, von der Länge des Sprosses abhängt. Ich führe zuerst ein Beispiel der Versuche mit nichtwachsenden *Helianthus*-Sprossen an.

Versuch.

Ein *Helianthus*-Sproß, 9 cm lang, zeigt zur Zeit des Versuches kein Wachstum.

1 Min. horizontaler Lage.

---

1) Rothert l. c., 1896.

	Zeit	Mikrometer
Aufgestellt:	0,0	20,8
	1'	20
	2'	Dasselbe
	3'	Dasselbe
	4'	Dasselbe
		usw.

Die elastische Ausgleichungsbewegung wurde während der ersten Minute ausgeführt und klang während dieser Zeit vollständig aus.

Versuch.

Derselbe *Helianthus* für 2 Min. horizontal gelegt.

	Zeit	Mikrometer
Aufgestellt:	0,0	23
	1'	23,9
	2'	24
	3'	Dasselbe
	4'	Dasselbe
	5'	Dasselbe
	6'	Dasselbe
		usw.

Das Resultat ist also genau dasselbe: die elastische Bewegung ist minimal und klingt schnell aus.

(Dieselbe kurze Zeit der horizontalen Lage hat bei reaktionsfähigen *Helianthus*-Sprossen, wie später gezeigt werden wird, dauernde typische Reaktionen zur Folge).

Auch längere Zeiten der horizontalen Lage gaben dieselben kurzen Ausgleichungsbewegungen (einige Beispiele s. später), die in ihrem Charakter den Ausgleichungen der anorganischen elastischen Substanzen vollkommen analog waren.

Die *Gramineen*-Keimlinge zeigten nach dem Durchbrechen des Kotyledo auch bei gutem Wachstum nur elastische Bewegungen und keine Reaktionen. Aber auch die elastischen Bewegungen bleiben bei ihnen, wie in der Phase der Durchbiegung, also in horizontaler Lage, mikroskopisch beobachtet, so auch in der

Phase der Ausgleichung, nach dem Aufstellen vollständig unbedeutend.

Bei sehr kurzen turgeszenten Sprossen, die sofort nach dem Durchbrechen des Kotyledo untersucht wurden, wurde bei den angewendeten Induktionszeiten überhaupt keine Durchbiegung, darum auch keine elastische Ausgleichung mikroskopisch sichtbar, so daß die Bewegungen der reaktionsfähigen, d. h. vor dem Durchbrechen des Kotyledo befindlichen *Gramineen*-Keimlinge mit vollem Rechte von Anfang an nur als geotropische Reaktionen betrachtet werden dürfen[1]). Die folgenden Versuchsbeispiele werden dies bestätigen.

Versuch.

Hordeum-Keimling, 4 cm lang. Der Kotyledo eben durchbrochen.

1 Min. horizontaler Lage.

	Zeit	Mikrometer
Aufgestellt:	0,0	50
	1′	Dasselbe
	2′	Dasselbe
	5′	Dasselbe
		usw.

Also zeigte der 4 cm lange reaktionsfähige Keimling auch keine elastische Bewegung.

1) Obwohl ich in keinem einzigen Fall bei den Keimlingen mit eben durchbrochenem Kotyledo eine geotropische Reaktion beobachtet habe, steht für mich der Satz, daß nach dem Durchbrechen des Kotyledo im allgemeinen jede Spur der geotropischen Reaktionsfähigkeit verloren geht, einstweilen noch nicht endgültig fest. Ich besitze einige experimentelle Belege dafür, die vermuten lassen, daß manchmal auch nach dem Durchbrechen des Kotyledo, und zwar einige Stunden später, ganz schwache geotropische Reaktionen möglich sind. Ob vielleicht in diesen Fällen der Kotyledo noch einen mikroskopischen Zuwachs zeigt, oder ob der Grund für diese Erscheinungen irgendwo anders liegt, bleibt noch mikroskopisch zu untersuchen.

Längere Zeit horizontaler Lage wirkte dabei, ebenso wie bei den anorganischen Substanzen, nur sehr wenig auf den Vorgang der Ausgleichung ein.

So hat ein 3 cm langer Keimling von *Secale* mit durchbrochenem Kotyledo nach 2 Min., dann nach 5 Min. horizontaler Lage, nach dem Aufstellen eine gleich große, für sich aber minimale Ausgleichung gezeigt. In beiden Fällen betrug ihre Größe nur 1 Mikrometerteil.

Ein *Hordeum*-Keimling, 4 cm lang, mit dem ersten Blatte, zeigte nach 1 Min. Horizontallage eine 1 Mikrometerteil große Ausgleichung während der ersten Minute; dieselbe Ausgleichung zeigte er nach 3 Min. dauernder Horizontallage.

Die Tatsache, daß die Gramineen-Keimlinge bei mikroskopischer Beobachtung fast keine elastische Ausgleichung nach dem Aufstellen zeigen, setzt voraus, daß auch ihre Senkbewegung, in der horizontalen Lage beobachtet, eine minimale sein muß. Dies hat auch die mikroskopische Beobachtung der Gramineen in horizontaler Lage vollkommen bestätigt.

Versuch.

Ein Keimling von *Triticum*, 9 cm lang, wurde auf die Durchbiegung, also in horizontaler Lage, mikroskopisch untersucht.

Während 3 Min. betrug die Durchbiegung nur 0,5 Mikrometerteile.

Daraus war von selbst klar, daß auch beim Aufstellen keine bedeutende Ausgleichung zu erwarten war. Es wurde in der Tat beim Aufstellen fast keine elastische Ausgleichung beobachtet.

Aus diesem Versuche ist ersichtlich, daß sogar längere Gramineensprosse öfters fast gar keine elastische Durchbiegung und keine Ausgleichung zeigen.

Dies ergibt sich auch aus dem nächstfolgenden Beispiele:

Versuch.

Hordeum-Keimling, 7,5 cm lang.

1,5 Min. horizontaler Lage.

	Zeit	Mikrometer
Aufgestellt:	0,0	61
	1′	Dasselbe
	2′	Dasselbe
	3′	Dasselbe
	20′	Dasselbe.

In diesem Falle wurde weder Durchbiegung noch elastische Ausgleichung beobachtet.

Man sieht aus den angeführten Beispielen, daß die elastische Ausgleichung überall da, wo sie nach dem Aufstellen zustande kommt, denselben Charakter trägt.

Unter den Bedingungen der Versuchsanordnung, die genau dieselben, wie bei den später anzuführenden Versuchen mit geotropischen Reaktionsbewegungen sind, zeigt die elastische Ausgleichung der Durchbiegung folgende Merkmale:

1. Sie fängt sofort nach dem Aufstellen des Objektes in die vertikale Lage an.

2. Sie klingt schnell aus.

3. Sie ist von der Dauer der horizontalen Lage innerhalb der Grenzen der Versuchsanordnung unabhängig.

4. Sie zeigt nie eine Rückbewegung, unter Voraussetzung eines ruhigen, schüttelfreien Aufrichten des Objektes [1]);

Der Verlauf der elastischen Ausgleichung nach der Exposition in horizontaler Lage ist also von dem Reaktionsverlauf, wie dieser bei aeroïdotropischen Erscheinungen angegeben worden ist und bei den geotropischen folgt, grundverschieden.

Einen ganz anderen Charakter tragen die Versuche unter eben denselben Bedingungen, bei denen man mit reaktionsfähigen Pflanzen zu tun hat.

1) Sonst kann während der ersten Sekunde eine pendelnde Bewegung bemerkt werden, die aber selbstverständlich mit der Rückbewegung der Pflanze nach der Reaktion, die sie in die normale Lage bringt, ebenfalls nichts gemeinsames hat.

1. Die Bewegung fängt auch hier sofort an (ist also in diesem Stadium noch von der elastischen Ausgleichung zu unterscheiden — davon später).

2. Sie klingt nicht aus, sondern ist z. B. schon bei 1 Min. Induktion dauernd (bis 30 Min.).

3. Sie ist in hohem Grade von der Induktionsdauer abhängig.

4. Sie verläuft im allgemeinen in derselben Weise wie bei den aeroïdotropischen Reaktionen.

Nach dem Ausklingen zeigt sich immer eine Rückkehr des Sprosses in die normale Lage.

Dies alles wird im Laufe des Kapitels zahlenmäßig erläutert. Es kommt aber noch darauf an, die elastische Bewegung auch während der ersten Sekunden der Beobachtung von der geotropischen Reaktion abzutrennen.

I. Diese Trennung gestatten fürs erste Versuche mit *Gramineen*-Keimlingen, die bei der Kürze des Keimlings vor dem Durchbrechen des Kotyledo keine elastischen Bewegungen ausführen und auch keine Durchbiegung während der kurzen Zeit der Induktion erleiden, wie die mikroskopische Beobachtung in der horizontalen Lage zeigt. Bei diesen Objekten muß also die Bewegung in der induzierten Richtung von Anfang an als eine Reaktionsbewegung und frei von elastischer Ausgleichung betrachtet werden.

Den Versuchen mit Gramineen gemäß ist die Reaktionszeit schon bei einer Minute horizontaler Lage jedenfalls kleiner als 8—10 Sekunden. Diese Zeit brauchte ich wieder, um das Objekt im Mikroskop nach dem Aufstellen mit dem Auge genau zu fixieren: stets aber sah ich dann die Bewegung schon im Gange.

Ich will sofort ein Beispiel anführen, bei dem *Secale*-Keimlinge untersucht wurden, einer etwas größer, bis 4 cm, mit durchbrochenem Kotyledo, also nicht reaktionsfähig, als Kontrollobjekt für die elastische Ausgleichung, der andere etwas kleiner, mit nicht durchbrochenem Kotyledo, also reaktiosfähig.

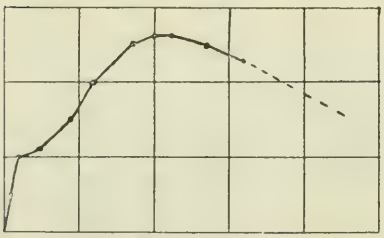
Beide, wie es für die Versuche unbedingt notwendig ist, im Wachstum.

Versuch.

2 Min. lang wird das Töpfchen mit den beiden Keimlingen horizontal gelegt.

Zeit	Nicht-reaktionsfähiger Keimling Mikrometer	Reaktionsfähiger Keimling Mikrometer
Aufgestellt: 8 h 58′	10	87
Nach 0,5′	Dasselbe	Die Bewegung **sofort** angefangen
8 h 59′	Dasselbe	86
9 h 00′	Dasselbe	85
03′	Dasselbe	84,8
07′	Dasselbe	84
10′	Dasselbe	83
15′	Dasselbe	82
		Die Krümmung ist mit unbewaffnetem Auge sichtbar
18′	Dasselbe	81,8
20′	Dasselbe	Dasselbe: **Stillstand**
25′	Dasselbe	82
		Es fängt die **Zurückbewegung** an
30′	Dasselbe	82,5
		usw.

Der nicht reaktionsfähige Keimling blieb ohne jede Bewegung, zeigte also auch keine elastische Ausgleichung; der reaktionsfähige Keimling reagierte sofort geotropisch, die Reaktionsdauer (= die Reaktionsbewegung [20 Min.] + Stillstand [6 Min.]) betrug 26 Min.; ihr folgte das Zurückkehren in die normale Lage.



Kurve VII.
Gang der geotropischen Reaktion eines *Secale*-Keimlings nach 2 Min. dauernder Induktion (Orig. Gr.)

Ich gebe den Gang der Reaktion als Kurve an (Kurve VII); die Kurven der Reaktionsbewegungen kurzer *Gramineen*-Keimlinge erlangen bei der Kürze der Induktionszeit nie die Größe der

Kurven der langen und biegsamen *Helianthus*-Sprossen; der Charakter der Reaktionsbewegung ist aber auch hier vollständig ausgeprägt.

Wie bei allen Versuchen, welche die Reaktionszeit berücksichtigen müssen, gibt die Abszisse mit 1 mm 1 Min. (wie überall), die Ordinaten mit 5 mm 1 Mikrometerteil.

Nachdem die ausgeführte Reaktion vollständig ausgeglichen und der Keimling eine Zeitlang in Ruhe gelassen worden war, wurde eben dieser Keimling noch einmal, und zwar 5 Min. lang, geotropisch gereizt.

Die Reaktion fing wieder sofort an und dauerte viel länger als die erste.

Nach 35 Min. war die Krümmung für das unbewaffnete Auge scharf ausgeprägt, die Bewegung dauerte, obwohl schon langsamer werdend, noch immer fort.

Ich habe den Gang der Reaktion in diesem Fall nur am Anfang für die Feststellung der Reaktionszeit und dann in etwas größeren Perioden verfolgt.

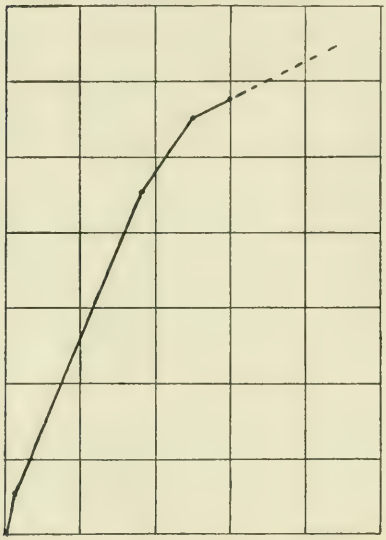
	Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
Aufgestellt:	9 h 50′	62	Die Reaktion sofort angefangen
	51′	61	
		usw.	
	10 h 08′	53	Also noch 7 Teile vorbeigegangen
	15′	51	Dann langsamer.
	25′	50,5	

Hier mußte ich den Versuch abbrechen, obwohl die Bewegung, wie gesagt, noch fortdauerte. Bis zur letzten Beobachtung hatte die Reaktionsbewegung schon mehr als 35 Min. gedauert, d. h. schon 15 Min. länger als die Reaktionsbewegung bei 2 Min. Induktion.

Auch die Kurve zeigt die größere Intensität und die längere Dauer dieser zweiten Reaktion auf die längere Einwirkungszeit des Reizanlasses (Kurve VIII).

Jedenfalls ist diese Kurve in den Zwischenmomenten etwas schematisch — es ist z. B. möglich, daß auch hier zwischen der ersten und den nächstfolgenden Minuten ein Moment der Verlangsamung der Bewegung und erst dann wieder Beschleunigung vor-

handen war. Denn wie auch die Versuche mit *Helianthus* zeigen werden, die Reaktionsbewegung geht bei den geotropischen Reaktionen (ebenso wie bei den aeroïdotropischen s. S. 57) sofort nach dem Anfang der Bewegung, hier also sofort nach dem Aufstellen des Keimlings, auch bei Ausschluß der elastischen Ausgleichung etwas schneller als unmittelbar nachher vor sich. (Die zweite Beschleunigungsphase ist aber auch hier die größere).



Kurve VIII.
Gang der geotropischen Reaktion eines *Secale*-Keimlings nach 5 Min. dauernder Induktion (Orig. Gr.).

Vielleicht wäre dies auch hier dadurch zu erklären, daß der Autotropismus (darauf möglicherweise auch wieder der Geotropismus), der später, soweit die Reaktion die aufgestellte Pflanze von neuem aus der normalen Lage bringt, zum Ausdruck kommt, während der ersten Sekunden der Reaktion ihr noch nicht entgegenarbeitet.

Der Gang der Reaktion wird später noch an *Helianthus*-Keimlingen erörtert werden. Hier ist noch die Frage der Reaktionszeit weiter zu untersuchen.

II. Außer den Versuchen mit *Gramineen*-Keimlingen, welche die Reaktionszeit für die Reizung mit Schwerkraft g und 1 – 5 Min. Induktionsdauer als eine ganz minimale feststellen, habe ich noch eine andere Art von Versuchen ausgeführt, nämlich die schon einmal erwähnten Versuche mit Unterstützung, für die Bestimmung der Reaktionszeit auch an dikotylen Pflanzen.

In diesen Versuchen wurde entweder ein Platindraht oder eine längere Stecknadel als Stütze gebraucht.

Die Lage derselben ist aus der Figur 10 ersichtlich.

Wie schon früher erwähnt, mahnen die Versuche mit Unterstützung vom methodischen Standpunkte aus zu großer Vorsicht.

Da hier ein fremder Körper die Pflanze berührt, so wird die erste Voraussetzung der reizphysiologischen Untersuchung[1]), der normale Zustand des Keimlings, dadurch einigermaßen gestört.

Die Vorversuche haben in der Tat gezeigt: 1. daß einer längeren Berührung, nach dem Entfernen der Stütze, eine Bewegung nach der Stütze hin folgen kann. Diese Erscheinung bedarf selbst einer Untersuchung, da sie für sich ein Interesse bietet. Hier sei nur erwähnt, daß man mit ihr zu rechnen hat;

2. daß die Reaktionsintensitäten sich, auch nach kurzer Berührung, ihrer Energie nach im allgemeinen schwächer zeigen als ohne Unterstützung. Dies letztere war nicht zu beseitigen (möglicherweise kann es dadurch erklärt werden, daß die Berührung auch in diesen Fällen die entgegengesetzte Bewegung zu induzieren vermochte, die demnach während der ganzen Zeit der geotropischen Reaktion durch Geotropismus überwunden werden muß).

Um so bezeichnender ist es, daß sich die geotropischen Reaktionen doch als sofort anfangende kund gaben.

Dem ersten Einfluß, d. h. den Folgen der zu langen Berührung der Stütze, wurde durch folgende Maßregeln vorgebeugt:

Die Stütze wurde ganz dicht neben der Pflanze aufgestellt, so aber, daß ein im Mikroskop sichtbarer Abstand zwischen ihr und der Pflanze blieb.

Beim Horizontallegen berührte die Pflanze die Stütze und die elastische Durchbeugung fand nicht statt, beim Aufstellen befand sich die Pflanze meist wieder genau in derselben Lage im Mikroskop wie vorher. Die Berührung war also nur während der geotropischen Induktionszeit vorhanden.

Die Stütze wurde unmittelbar nach dem Aufstellen des Sprosses (ohne jegliche Erschütterung) entfernt.

Die Vorversuche mit nicht wachsenden *Helianthus* haben gezeigt, daß bei diesem Verfahren die elastische Durchbiegung und die elastische Ausgleichung ausgeschlossen sind.

---

1) S. viertes Kap.

Bei den wachsenden Sprossen aber wurde die Bewegung in der induzierten Richtung nicht unterdrückt, wie es hätte der Fall sein sollen, wenn sie eine elastische wäre, sondern wurde auch mit Unterstützung sofort sichtbar. Sie muß also von Anfang an als geotropische betrachtet werden. Sie zeigte sich schwächer als beim Fehlen einer Unterstützung, wie selbstverständlich, da die elastische Ausgleichung nicht mitwirkte; sie blieb aber in den meisten Fällen am Anfang doch etwas größer als unmittelbar nachher (nur bei sehr schwachen Reaktionen ging sie ganz allmählich vor sich), so daß auch in den Versuchen mit Unterstützung die zwei Beschleunigungsphasen (wie bei aeroïdotropischen Reaktionen) beobachtet werden konnten.

Ich gebe Beispiele der Versuche mit Unterstützung, bei denen hauptsächlich der unmittelbare Anfang der Bewegung, also die Kürze der Reaktionszeit, betont werden wird. Um den ganzen Gang der geotropischen Reaktion deutlich zu machen, führe ich später Versuche ohne Unterstützung an.

Um aber von den abgeschwächten Reaktionen bei den Versuchen mit Unterstützung doch einen Begriff zu geben, werde ich im ersten Beispiele die ganze Reaktion und auch ihre Kurve anführen; bei den nächstfolgenden wird aber nur die Dauer der Reaktionszeit, d. h. nur der Anfang der Reaktion, berücksichtigt.

Versuch.

Ein *Helianthus*-Sproß, 6 cm lang, als Objekt der Untersuchung gewählt.

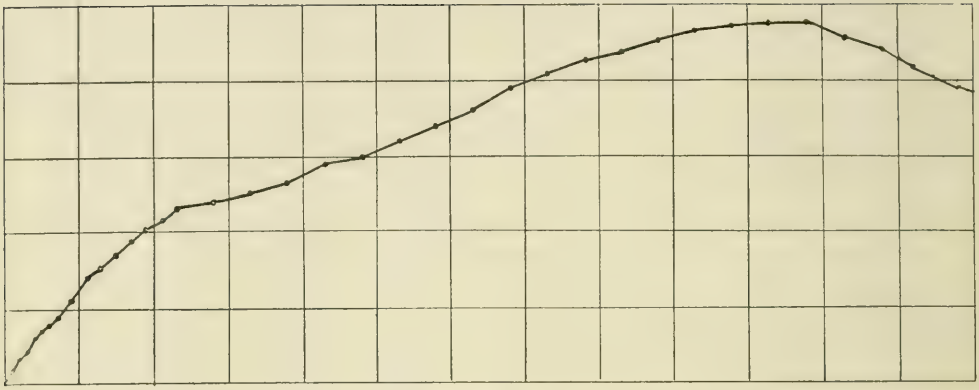
1. Min. horizontaler Lage: mit Unterstützung.

Reaktionsverlauf in Zahlen.

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
7 h 10′	48,2	Die Reaktionsbewegung fängt unmittelbar nach dem Aufstellen des Sprosses an
11′	48,6	
12′	48,9	
13′	49,1	

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
7 h 14'	49,5	
17'	50	
19'	50,5	
21'	51	
23'	51,3	
25'	51,6	
27'	52	
29'	52,2	
31'	52,3	
33'	52,5	
35'	52,8	
Weiter jede 5'		
7 h 40'	53	
45'	53,2	Die Krümmung ist für das unbewaffnete Auge vollkommen deutlich
50'	53,5	
55'	54	
8 h 00'	54,2	
05'	54,6	
10'	55	
15'	55,4	
20'	56	
25'	56,3	
30'	56,7	
35'	57	
40'	57,3	
45'	57,5	
50'	57,6	
55'	57,7	
9 h 00'	Dasselbe	**Stillstand**
05'	57,3	Es fängt die **Zurückbewegung** an
10'	57	
15'	56,5	
20'	56	
25'	55,6	
30'	55	
35'	54,6	
40'	54,2	
45'	53,6	
	usw.	

Ich gebe auch die Kurve dieses Versuches an (Kurve IX).



Kurve IX.

Gang der geotropischen Reaktion bei einem *Helianthus*-Sproß nach 1 Min. dauernder Induktion mit Unterstützung. (Orig. Gr.)

In den nächstfolgenden Beispielen mit Unterstützung gebe ich nur den Anfang der Reaktionen an.

Versuch.

Ein *Helianthus*-Sproß, 5,5 cm lang, wurde für 1 Min. horizontal gelegt.

Aufgestellt: 48,3; nach 1 Min. 48,6 usw.

Versuch.

Helianthus. 7 cm lang.

1,5 Min. horizontaler Lage.

	Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
Aufgestellt:	0,0	40	Die Reaktion fängt langsam aber sofort an
	Nach 4'	40,5	
	Noch nach 4'	41,1	
	„ „ 4'	41,5	
	„ „ 4'	41,9	
		usw.	

Versuch.

Helianthus. 5 cm lang.

1,5 Min. horizontaler Lage.

	Zeit	Mikrometer
Aufgestellt:	0,0	54,4
	Nach 1'	54,7
	Noch nach 1'	54,9
	„ „ 4'	55,8
	„ „ 4'	56,5
	„ „ 4'	57
		usw.

Die Reaktionsbewegung dauerte von 7 h 06' bis 8 h 30', dann kam der Stillstand und die Rückkehr in die normale Lage.

Versuch.

Bei diesem Versuche wurde ein und derselbe Sproß von *Helianthus* zweimal nach einander, mit einer Ruhepause dazwischen gereizt; das eine Mal mit[1]), das andere Mal ohne Unterstützung. Jedesmal dauerte die Induktionszeit 1 Min. Beide Male zeigte der Keimling nach bestimmter Zeit eine mit unbewaffnetem Auge sichtbare geotropische Krümmung in der induzierten Richtung.

Während der ersten 2 Min. war die Bewegung ohne Unterstützung energischer. Während dieser ersten 2 Min. wurden mit Unterstützung 0,3 Mikrometerteile, ohne Unterstützung 1,0 Mikrometerteil zurückgelegt; dann ging die Bewegung gleichmäßig weiter.

Bei den *Gramineen* war, wie gesagt, die elastische Krümmung so gut wie ausgeschlossen.

In der Tat haben die Versuche mit *Gramineen* und Unterstützung fast keine Differenzen in der Bewegung während der ersten Minuten gezeigt.

---

1) Und zwar das erste Mal.

Versuch.

Hordeum 3,5 cm lang.

1,5 Min. horizontaler Lage.

Ohne Unterstützung	Mikrometer	**Mit** Unterstützung	Mikrometer
Um 12 h 34′ aufgestellt	60	Um 3 h 41′ aufgestellt	47
Um 12 h 35′, also nach 1′	60,2	Um 3 h 42′, also nach 1′	47,2
Um 12 h 50′, also nach 15′	61,5	Um 3 h 47′, also nach 5′	47,7
	usw.		usw.

Diese beiden Reaktionen wurden noch weiter verfolgt; die Reaktion nach der Induktion mit Unterstützung dauerte länger, fiel aber im allgemeinen schwächer aus als in den Fällen, wo die Unterstützung fehlte.

Alle angeführten Beispiele bestätigen, daß die Reaktionszeiten wachsender Sprosse schon bei 1 Min. Induktion mit g-Kraft jedenfalls nicht größer als wenige Sekunden sind. Man sieht aus den angeführten Daten, daß sogar das Mikroskop kaum ausreicht, um die Dauer der Reaktionszeit bei stärkeren Reizanlässen und gut wachsenden, also völlig reaktionsfähigen Objekten genauer festzustellen. Für jede genaue Messung ist gewiß notwendig, daß die mögliche Leistung des Meßapparates die geplante Annäherung der Bestimmung übersteigt. Darum ist es sehr wünschenswert, die feineren Methoden der Tierphysiologie und der experimentellen Psycho-Physiologie, die Hundertstel und Tausendstel der Sekunde festzustellen erlauben, auch in die Pflanzenphysiologie einzuführen. Jedenfalls aber stellen einstweilen die mikroskopischen Beobachtungen der Frage nach der Reaktionszeit festere Grenzen.

Um den Gang des geotropischen Prozesses im ganzen zu erläutern, müssen Beispiele von Versuchen mit Pflanzen unter normalen Bedingungen, also ohne Unterstützung, angeführt werden.

Diese geben bei gutem Wachstum oft ganz bedeutende, nach kurzer Zeit mit unbewaffnetem Auge sichtbare Reaktionen,

wie aus den nachstehenden Beispielen ersichtlich wird. Die Bewegung während der ersten 1—3 Min. muß dabei selbstverständlich als die Summe der Reaktionsbewegung + elastischer Ausgleichung betrachtet werden (vielleicht aber nicht nur als eine einfache Summe, da hier auch die geotropische Bewegung selbst, durch elastische Ausgleichung unterstützt und durch Autotropismus und die entgegengesetzte geotropische Reizung noch nicht gehemmt, besonders stark zum Ausdruck kommen kann).

In allen folgenden Beispielen wurden die Versuchspflanzen wie immer der Vorbeobachtung unterworfen und nur die am schnellsten wachsenden als Objekte der Untersuchung gebraucht. Alle diese Versuche bestätigen, daß der Charakter der geotropischen Reaktionsbewegung dem der aeroïdotropischen in den Hauptzügen ähnlich ist. Der ganze Prozeß verläuft bei den angewendeten Reizdauern in 1—3 Std. Während dieser Zeit wird auch die Ausgleichung vollzogen. Zwischen der Reaktionsbewegung und der Ausgleichung liegt eine Periode des Stillstandes. Es werden auch 2 Beschleunigungsphasen während der Reaktionsbewegung beobachtet (die erste allerdings, bei diesen Versuchen ohne Unterstützung, über die Norm gesteigert).

Versuch.

Ein *Helianthus*-Sproß wird für 1 Min. horizontal gelegt (nach rechts).

Der Gang der Reaktion in Zahlen[1]).

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
11 h 56′	40—53	Die Bewegung sofort nach links[2])
57′	52	
58′	51,8	
12 h 00′	51,3	
02′	50,9	
06′	50,5	
08′	50,2	
12′	49,9	
16′	Dasselbe	

1) Diese sind hier öfter als bei den aeroïdotropischen Untersuchungen notiert.

2) Im Mikroskop also nach rechts.

4 Min. dauert der Stillstand, dann fängt die Rückkehr in die normale Lage an. Die Reaktionsdauer betrug in diesem Falle bei 1 Min. Induktion 20 Min.

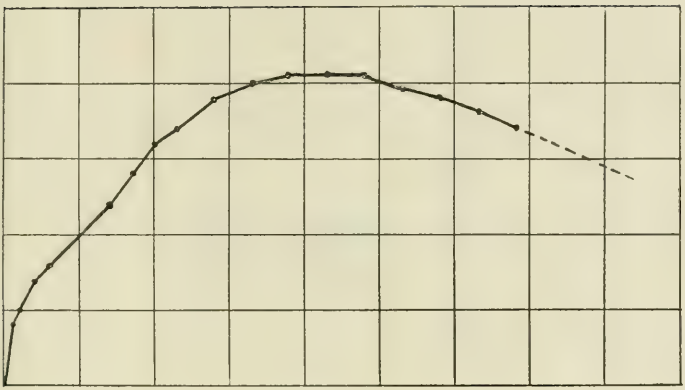
Versuch.

Ein anderer Sproß von *Helianthus* wiederum 1 Min. geotropisch gereizt.

Gang der Reaktion.

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
2 h 56′	48—60	
57′	44	
58′	43	
3 h 01′	41	
03′	40	Die Krümmung ist mit unbewaffnetem Auge sichtbar
11′	35,8	
14′	34	
17′	32	Verlangsamung
20′	31	
25′	29	
30′	28	
35′	27,5	
45′	Dasselbe	**Stillstand**
50′	27,8	Es fängt das **Zurückkehren** an
55′	28,5	
4 h 00′	29,2	
05′	30,1	
10′	31	
	usw.	

Die Reaktionsdauer betrug 49 Min. Das Wachstum des Sprosses war sehr gut. Die Spitze kehrte schneller zurück; um 4 h 10′ begann die S-Krümmung sichtbar zu werden (Kurve X).



Kurve X.

Gang der geotropischen Reaktion bei einem *Helianthus*-Sproß nach 1 Min. dauernder Induktion. (Orig. Gr.)

Versuch.

Helianthus-Sproß, 7 cm lang.

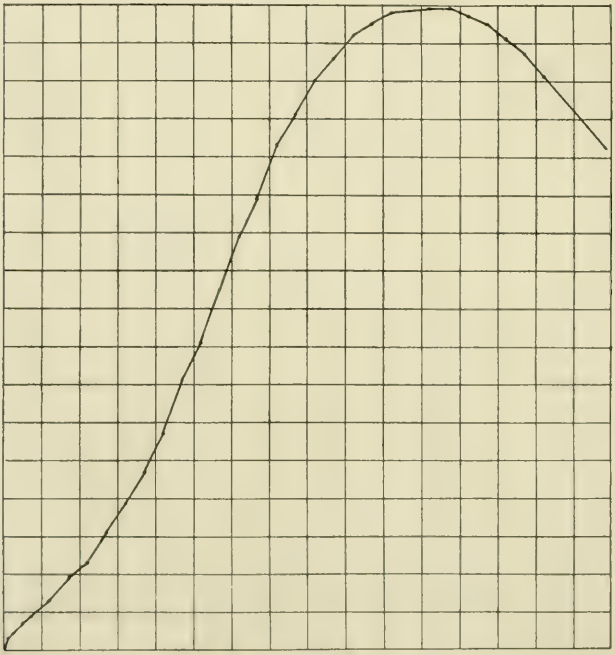
3 Min. in horizontaler Lage.

Gang der Reaktion.

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
10 h 8′	90,5	Die Bewegung fängt sofort an
8,5′	90	
9′	89	
10′	88,5	
13′	87	
15′	86	
20′	84	
25′	81,2	
30′	79	
35′	75	
40′	71,2	
45′	67,1	
50′	62	
55′	56	
11 h 00′	51	
05′	43	Große Beschleunigung
10′	36	
15′	31	

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
11 h 20′	24	
25′	20	
30′	15,5	
35′	12,5	
40′	9,2	
45′	7,9	
50′	6,4	
12 h 00′	5,9	
03′	Dasselbe	**Stillstand** 3 Min.
05′	6,0	Es fängt das **Zurückkehren** des Sprosses an
10′	7	
15′	8,2	
20′	10	
25′	12	
30′	15	
50′	25	
	usw.	Die Spitze macht eine S-Krümmung

Die Reaktionsdauer betrug 1 Std. 55 Min. (Kurve XI).



Kurve XI.

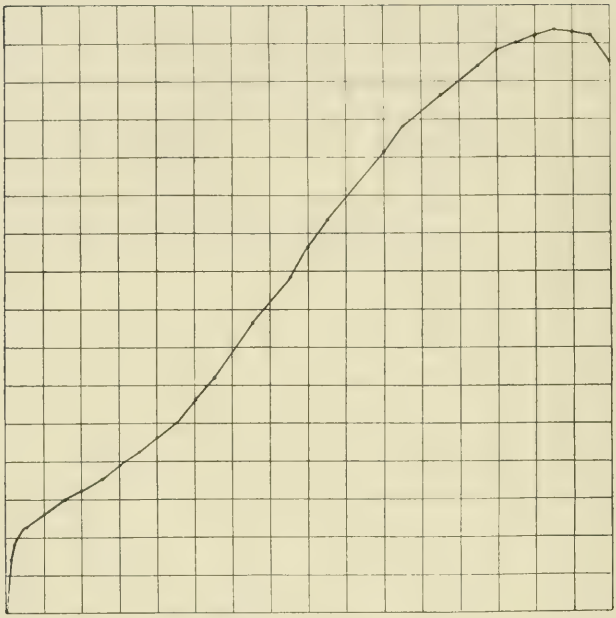
Gang der geotropischen Reaktion bei einem *Helianthus*-Sproß nach 3 Min. dauernder Induktion. ($^1/_2$ Orig. Gr.)

Versuch.

Helianthus. Induktionszeit = 5 Min.

Zeit	Mikrometer	Bemerkungen
12 h 20'	91	
21'	84	
22'	82	Verlangsamung
23'	81	
24'	80	
25'	79,8	
30'	78	
35'	76	
40'	75	
45'	73,5	
50'	71,5	
55'	70	
1 h 00'	68	
05'	66	
10'	63	
15'	60	**Beschleunigung** der Bewegung
25'	53	
35'	48	
40'	44	
45'	40,5	
	usw.	
2 h 00'	31,5	
05'	28,2	
10'	26,2	
15'	24,2	
20'	22	
25'	20	
30'	19	
35'	17,8	Allmähliche **Verlangsamung** vor dem Stillstande
40'	16,8	
45'	16,2	
50'	Dasselbe	**Stillstand**
55'	17	Es fängt die **Zurück**bewegung an
3 h 00'	20,5	
	usw.	

Die Reaktionsdauer betrug 2 Std. 30 Min. (Kurve XII).



Kurve XII.

Gang der geotropischen Reaktion bei einem *Helianthus*-Sproß nach 5 Min. dauernder Induktion. ($^1/_2$ Orig. Gr.)

Obwohl der Gang der geotropischen Reaktion im allgemeinen dem der aeroïdotropischen ähnlich erscheint, ist anzunehmen, daß bei weiteren Untersuchungen und Aufzeichnungen der Reaktionskurven einige der ersten Beobachtung sich entziehende Unterschiede in den Reaktionen auf verschiedene Reize sich erweisen werden.

Diese Unterschiede müßten jedenfalls durch spezifische Eigentümlichkeiten verschiedener Reizanlässe bedingt sein.

So ist für den Reizanlaß g bei Geotropismus eine besondere Gleichmäßigkeit der Einwirkung charakteristisch, welche die bei der Einwirkung der chemotropischen Reizanlässe kaum zu erreichen ist.

Dann muß die Stimmung, deren große Bedeutung für die Reaktion auch der höheren Pflanzen neuerdings von Nathanson und Pringsheim festgestellt wurde, sich für den Geotropismus

als eine andere und wahrscheinlich auch anders sich verändernde erweisen als für ungewöhnliche chemotropische Reize usw.

Ich muß einstweilen mit den angeführten Beispielen für geotropische Reaktionen dieses Kapitel abschließen und gehe zu der letzten von mir experimentell berührten Frage, der Frage der „Perzeptionszeit", über.

Zwölftes Kapitel.

Zur Frage der Perzeptionszeit.

Die minimale Zeitdauer, die erforderlich ist, damit eine Pflanze einen Reiz perzipiert = „empfindet", hat FITTING als Perzeptionszeit bezeichnet[1]).

Diese Zeit der Einwirkung ist an sich ungenügend, um irgend eine sichtbare Reaktion auszulösen; also verliert man das Kriterium der direkten Bestimmung, und es bleibt nichts übrig als sie indirekt zu erschließen.

Als Methode ihrer indirekten Bestimmung wird die Methode der intermittierenden Reizung (WIESNER[2])) gebraucht.

Einer Reizungsperiode folgt unter diesen Umständen eine Ruhepause, dann wieder eine Reizung usw. — Obwohl keine einzelne Reizung für sich eine Reaktion auszulösen vermag, werden die einzelnen Wirkungen, falls sie durch die Pflanze perzipiert werden, allmählich summiert, und dies kann nach einer bestimmten Zeit zu einer sichtbaren Reaktion führen.

Das Verhältnis zwischen der Dauer der Reizeinwirkung und der Ruhepause ist durch die von NOLL als „Extinktionsvorgänge" bezeich-

---

1) FITTING l. c., 1905, S. 285.

2) WIESNER, J., „Die heliotropischen Erscheinungen im Pflanzenreiche". Denkschr. d. Kais. Akad. d. Wiss. zu Wien, Mat. nat. Kl., II. Teil, 1882. (I. Teil, 1878).

neten Prozesse des Wiederherstellens der durch den Reiz überwundenen Induktionswiderstände und des Ausklingens der induzierten Erregungen sowie der auf die Reaktion hinzielenden Vorgänge bestimmt. „Wird den Extinktionsvorgängen in den Ruhepausen jedesmal Zeit gelassen, den status quo ante völlig wieder herzustellen, dann können natürlich auch unendlich oft wiederholte intermittierende Reize keinen Effekt erzielen“ [1]).

Aber auch bei der erfolgten Summierung der Reize können sehr verschiedene Fragen in Betracht kommen.

1. Es können die Reizeinwirkungen bei dem schnellen Nacheinanderfolgen als etwas Einheitliches „empfunden“ wurden.

Hier wird es keinen minimalen Grenzwert für die Zeit der Einwirkung jedes einzelnen Reizes geben, unter welchem dieser Reiz unwirksam bliebe. Man vergleiche z. B. die Versuche über den Heliotropismus von Nathanson und Pringsheim, die bei einer Zeitdauer jedes einzelnen Reizes = $^1/_{500}$ Sekunde eine Reaktion erzielten [2]). Von diesem Standpunkt aus ist auch die dauernde Beleuchtung nur eine Summe unendlich kleiner intermittierender Reize.

In bestimmten Grenzen wirkt dabei die Intermittenz schwächend auf die Intensität der Erregung, ohne aber als eine „intermittierende“ Reizung „empfunden“ zu werden.

Diese Schwächung der Intensität des Lichtreizes durch Intermittenz ist seit längerer Zeit in der Psychophysiologie des Menschen festgestellt und wieder in bestimmten Grenzen dem sogenannten Talbot-Plateauschen Gesetz angepaßt worden [3]). Es rotiert dabei eine Scheibe aus schwarzen und weißen Sektoren vor dem Auge: „Ist die Intensität des einwirkenden weißen Lichtes = i und der gesamte Raumwert der weißen Sektoren = a, der schwarzen

---

1) Noll, F., „Zur Kontroverse über den Geotropismus“. Ber. d. D. Bot. Ges., 1902, Bd. XX, S. 409, 410.

2) Nathanson, Al., und Pringsheim, E., „Über die Summation intermittierender Lichtreize“. Jahrb. f. wiss. Bot., 1907, Bd. XLV, S. 188.

3) Ebbinghaus, H., „Grundzüge der Psychologie“. 1905, Bd. I, S. 259.

$= b$, so wird daher jetzt die über die ganze Scheibe ausgebreitete Helligkeit durch den Quotienten $\frac{ia}{a+b}$ gemessen“ [1]).

Genau dasselbe Verhältnis haben Pringsheim und Nathanson für die Lichtreize innerhalb gewisser Grenzen der Intermittenzschnelligkeit bei Pflanzen festgestellt.

2. Wie gesagt aber betrifft dieses Ergebnis der Intermittenz nur die Intensität des einwirkenden Reizes. Diese Frage muß daher von einer anderen abgetrennt werden, nämlich von der Frage der minimalen Zeitdauer, die für die Perzeption jeder einzelnen minimalen Kürzung einer bestimmten Intensität ausreichen würde.

Bekanntlich ist für das Auge bei Lichtperzeption eine „kritische Periode“ vorhanden, und ehe die Schnelligkeit der Intermittenz diese Periode überschritten hat, kommt nicht die Empfindung eines einheitlichen, der Intensität nach geschwächten Lichtreizes, sondern die Wahrnehmung eines Flimmerns zustande.

Das Vorhandensein einer „kritischen Periode“ wurde von Nathanson und Pringsheim auch für Pflanzen angenommen [2]), also auch das Stadium des „Flimmerns“ der Reizungen für die intermittierend gereizten Pflanzen.

Nur so lange das „Flimmern“ dauert, kann die Frage der „Perzeptionszeit“ wie für Heliotropismus, so auch für andere Reizerscheinungen gelten, d. h. nur da bekommt die Frage nach der minimalen Zeitdauer, bei der jede Reizung von gegebener Intensität noch als eine Reizung „empfunden“ werden kann, einen bestimmten Sinn.

Es ist nicht unwahrscheinlich, daß für alle Reizanlässe bei Intermittenz „eine kritische Periode“ vorhanden sein wird. Jede „langsamere“ Intermittenz wird dann für die Untersuchung der Frage über die „Perzeptionszeit“, jede „schnellere“ für die Aufstellung

1) Wundt, W., „Grundzüge der physiologischen Psychologie“, 1902, Bd. II, S. 191.

2) Nathanson und Pringsheim l. c., 1907, S. 158.

und Untersuchung der Frage über die „empfundene“ Abschwächung der Intensität des Reizes dienen.

Bei den einzeln perzipierten intermittierenden Reizen, also im ersten Falle, kann der Gesamteffekt der Intensität nach nicht schwächer, sondern sogar stärker als bei der entsprechenden dauernden Reizung ausfallen. Man könnte diesen Fall mit der intensiveren Wirkung „eines flackernden Lichtes, einer kitzelnden Berührung“ usw. vergleichen.

Ich hatte mir vorgenommen, die „Perzeptionzeit“ in dem erörterten Sinne für Aeroïdotropismus zu untersuchen und habe dazu ebenfalls die Methode der intermittierenden Reizung benutzt.

Daß ich dabei die „Perzeptionszeit“ untersuchte und feststellte, und nicht die Zeit, die „nicht mehr Perzeptionszeit“ ist, läßt sich, wie überhaupt bei allen Versuchen, wo direkte Reaktionen nicht gegeben sind, nur indirekt als wahrscheinlich erschließen.

Einige Gründe für diese Wahrscheinlichkeit, die für mich maßgebend waren, sind die folgenden:

1. Ich habe nur mit Intensitäten gearbeitet, die sehr klein waren und an der Grenze der Intensitätsreizschwelle für CO_2 lagen. Wenn also die Intermittenz nur Intensitätsabschwächung bewirkt hätte, würde sie überhaupt, auch nach längerer Einwirkung, eine Reaktion nicht mehr hervorrufen können.

Die Intensität des einwirkenden Reizes möglichst klein und der Intensitätsschwelle nahe auszuwählen, schien mir auch aus dem Grunde wichtig, weil dabei die Gefahr geringer wurde, bei jeder einzelnen Einwirkung die Reaktionszeit (auch für die kleinste Reaktionsbewegung) zu überschreiten.

2. Ich versuchte die Abklangszeit der Reizungen dieser Intensität festzustellen, indem ich die Beziehung zwischen der Einwirkungsdauer und der Ruhedauer bestimmte, bei der auch nach längerer Einwirkung keine Reaktion erfolgte. Diese Beziehung war für 0,01 ccm CO_2 bei jeder Einwirkung = 1:4 in 2 Sekunden. Also könnte man meinen, daß die Veränderungen, die solche kleine Mengen von CO_2 im Organismus während 0,4 Sekunden hervorbringen, in

1,6 Sekunden so weit abklingen, daß auch die Summation der Reize zu keiner Reaktion führt.

Dann habe ich für dieselbe Intensität die nächstfolgenden kleineren Verhältnisse zwischen Einwirkungsdauer = Ed. und Ruhedauer = Rd. geprüft, also Ed : Rd = 1 : 3, 1 : 2 und 1 : 1.

3. Die Reaktionszeiten, die dabei beobachtet wurden, zeigten sich nicht verlängert, was man hätte erwarten dürfen, falls sich alle intermittierend wirkende Reizungen zu einem, aber der Intensität nach abgeschwächtem Reize summiert hätten.

Dies sind die Hauptgründe, aus denen die Untersuchungen dieses Kapitels als Untersuchungen über die „Perzeptionszeit" bezeichnet worden sind.

Auf den Gebieten des Heliotropismus und des Geotropismus läßt sich die Intermittenz mittelst des Klinostaten zustande bringen. Um beim Aeroïdotropismus eine intermittierende Reizung zu erzielen, mußte eine neue Methode gesucht werden.

Ich blieb schließlich bei dem Gedanken der Jaminschen Kette, bei der Gasbläschen und Quecksilbersäulchen miteinander wechseln.

Der Apparat (s. Fig. 11 A) besteht aus einem Quecksilberaspirator As, der durch ein Seitenrohr a mit dem Gasbehälter und dem Manometer verbunden werden kann.

Der Aspirator geht in ein 60 cm langes Glasrohr R mit Kapillardurchmesser über. Das Glasrohr, unten gebogen, steht mit dem Apparat, in dem sich die Pflanze befindet, in Verbindung.

Die Glocke G, welche die Pflanze schützt, ist mit seitlichen Bohrungen versehen. Durch ihre Kautschukverschlüsse sind die Rohre R_1 und R_2 geleitet, deren Kapillardurchmesser dem von R gleich ist.

Die beiden Rohre haben im Apparate eine gebogene Form, um die mikroskopische Beobachtung nicht zu stören (Fig. 11 B).

Auch hier ist zwischen den beiden Röhren ein einseitig dünnwandigeres Tonrohrstück als Diffusionsrohr eingeschaltet, das eine entsprechende Kapillarlichtung besitzt.

Am Ende des Glasrohres R_2, außerhalb der Glocke, ist ein Hahn Q_2 angebracht.

Dieser Hahn Q_2 macht es in Verbindung mit dem Hahn des Aspirators Q_1 möglich, die Bewegungsschnelligkeit der ganzen Kette zu regulieren. Sobald die beiden Hähne teilweise geöffnet sind, beginnt das Quecksilber aus der Kugel K durch das Rohr b zu tropfen. Jeder Tropfen (oder jede 2 resp. 3 Tropfen) jagt ein Gasbläschen vor sich hin in das Rohr R und weiter durch das Rohr R_1, so daß eine Jamin-sche Kette von Gasbläschen und Hg-Säulchen im Apparate entsteht.

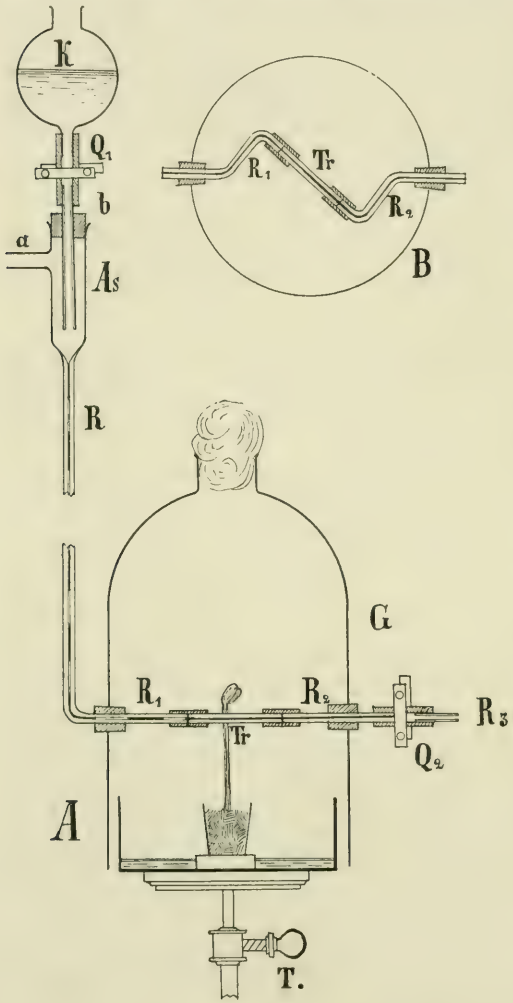


Fig. 11.
A Apparat für die Untersuchung der aeroïdotropischen Reizerscheinungen bei intermittierender Reizung. B Bild der Röhren unter der Glocke von oben gesehen.

Das größere oder geringere Öffnen der beiden Hähne bestimmt die größere oder geringere Schnelligkeit, mit der die Quecksilbertropfen fallen, und damit auch die Zahl und Länge der mitgerissenen Gasbläschen.

Die Zahl der Bläschen kann durch entsprechende Regulierung der Hähne in weiten Grenzen, z. B. zwischen 10—60 jede Minute, leicht variiert werden.

Die Größe der Quecksilbertropfen hängt von der Größe des Durchmessers des Aspiratorrohrs b ab. Um diese Größe zu verändern, muß man Rohre b mit größerem oder kleinerem Durchmesser in den Apparat einführen. Die Veränderung kann aber innerhalb gewisser Grenzen auch bei demselben Rohr (b) durch Zusammenfallenlassen von 2 bis 3 Hg-Tropfen erzielt werden. Der Durchmesser der Kapillarlichtungen der Rohre muß von vornherein mit dem Horizontalmikroskop bestimmt werden. In meinem Apparate betrug er 1,1501 mm.

Bei bestimmter Länge der Gasbläschen, die für jede Einstellung direkt gemessen werden kann, kann man nach der Formel $\pi r^2 h$, oder nach dem Gewicht der entsprechenden Hg-Säulchen die Menge der CO_2 in jedem Bläschen feststellen.

Die Gasbläschen habe ich in den Grenzen von 1—2 cm Länge gebraucht.

Jedes Gasbläschen diffundierte ohne Rest bei jeder Einwirkung auf die Pflanze aus, so daß die Menge der einwirkenden CO_2 durch Ausrechnung direkt ermittelt werden konnte.

Die Jaminsche Kette ging also nur bis zum Tonrohr; nach dem Tonrohr lief nur das Quecksilber weiter und tropfte aus dem Ausflußrohr R_3 allmählich aus.

Die Zeit der Diffusion jedes Gasbläschen war also der „Einwirkungsdauer", die Zeit, während deren das Quecksilbersäulchen vorbeilief, der „Ruhedauer" gleich.

Indem man die Größe des Gasbläschens und die Schnelligkeit des Durchleitens verändert, wird die Intensität der Einwirkung und das Verhältnis der Einwirkungsdauer zur Ruhedauer, also Ed : Rd, entsprechend variiert.

Aus der Zahl der Bläschen in jeder Minute ergab sich, wenn das Verhältnis zwischen der Länge der Gasbläschen und der Hg-Säulchen mitberücksichtigt wurde, die Zeit der Einwirkung und die Zeit der Ruhedauer für jede Einstellung der Jaminschen Kette.

Die Temperatur blieb bei diesen Versuchen der „normalen Temperatur" der früheren Versuche gleich. Der Druck konnte bei

jeder Einstellung an dem Wassermanometer des Aspirators abgelesen werden.

Die Hauptbedingung für die Brauchbarkeit des Apparates ist die Gleichmässigkeit seiner Leistung, d. h. der regelmäßige, ununterbrochene Gang der einmal regulierten Kette während vieler Stunden.

Diese Gleichmäßigkeit ist einesteils von der Länge des Rohres R, anderenteils von der Reinheit wie des Quecksilbers, so auch der Wände der Kapillarlichtungen aller Rohre abhängig.

Das Quecksilber muß durch Auswaschen, Durchpressen durch Leinen und wo möglich durch Destillation rein gehalten werden.

Der Apparat muß von Zeit zu Zeit zuerst mittelst HNO_3-Säure, dann, um alle Spuren der Säure zu beseitigen, vielmals mit destilliertem Wasser ausgewaschen und gut ausgetrocknet werden.

Sobald diese Forderungen erfüllt sind, kann der Apparat mit voller Regelmäßigkeit der Zahl und der Länge der Gasbläschen in der Kette funktionieren; ebenso wird dann auch jede wünschenswerte Veränderung dieser Verhältnisse mit Hilfe der Hähne Q_1 und Q_2 leicht erreichbar.

Da in diesem Apparate die Glocke G und die Rohre R_1, R_2 unbeweglich bleiben mußten, wurden die räumlichen Beziehungen zwischen dem Diffusionsrohre und der Pflanze mittelst eines verschiebbaren Tischchens T reguliert, auf dem sich die Schale Sch befand. Die Schale mußte in diesem Falle dem Zweck entsprechend einen etwas kleineren Durchmesser besitzen als die Glocke G.

Das Tonrohr wurde bei diesen Versuchen immer 1 mm weit von dem Sproß gehalten.

Als Objekte der Untersuchung habe ich hier ausschließlich *Helianthus*-Sprosse gebraucht.

Jeder Keimling wurde, wie in allen meinen früheren Versuchen, zuerst auf Wachstum und Nutation mikroskopisch untersucht.

Das Quecksilber konnte für sich keine Wirkung auf die Pflanzen ausüben. Dies wurde durch Kontrollversuche mit mehrstündigem Durchleiten von Hg vorweg festgestellt.

Ebenso hatte eine Kette von Hg-Säulchen und Luftbläschen unter normalen Bedingungen der die Pflanze umgebenden Atmosphäre keine Wirkung. Eine solche Kette kann, wo nötig, für die erste Regulierung des Apparates verwertet werden.

Die kleinste, für die Perzeption ausreichende Einwirkungsdauer, die sich beobachten ließ, war 0,5 Sek. für 0,01 ccm CO_2 bei einem Verhältnis von Einwirkungsdauer zu Ruhedauer nicht höher als 1:3.

(Dasselbe Verhältnis ist von Jost für den Geotropismus gefunden worden; er hat die kürzeste Einwirkungsdauer, die in seinen Versuchen noch perzipiert wurde, gleich 50″ angegeben [1]).

Ich habe die Reizerscheinungen gewöhnlich auch nach dem Anfang der Krümmung in derselben Weise intermittierend weiter geführt, um nach dem Verstärken der Krümmung, eventuell nach dem Umschlagen der positiven Krümmung in die negative, beurteilen zu können, ob ich es in der Tat mit der Reaktion und nicht mit einer zufälligen Bewegung zu tun hatte.

Bei den kleinsten gebrauchten Mengen von CO_2, nämlich bei 0,01 ccm während einer Dauer von weniger als 1 Sek., schien im allgemeinen die Intensität der Reizschwelle für negative Krümmungen nicht erreicht zu sein. Und auch bei längerer Einwirkung kamen in den meisten Versuchen nur positive, aber mit der Zeit gut ausgeprägte, mit unbewaffnetem Auge als solche sichtbare Krümmungen zustande.

Ausnahmsweise habe ich einmal bei dieser Intensität und bei dem Verhältnisse Ed:Rd = 1:2 das Umschlagen der positiven in die negative Reaktion beobachtet.

Wenn aber die Reizintensität auf 0,02 ccm bei jeder Einwirkung erhöht wurde, kamen negative Krümmungen zustande, die bei längerer Reizdauer beträchtliche Größen erreichen konnten.

---

1) Jost, L., „Die Perzeption des Schwerereizes in der Pflanze". Biol. Zentralbl., 1902, Bd. XXII. Bei vielen Versuchen, für welche das Verhältnis Ed : Rd viel größer angegeben wird, darf man vermuten, daß bei jeder Einwirkung (infolge der Beobachtung mit unbewaffnetem Auge) die Reaktionszeit überschritten worden war.

Es werden jetzt einige Beispiele der Versuche mitgeteilt werden, zuerst diejenigen, bei denen die CO_2-Menge bei jeder Einwirkung nicht mehr als 0,01 ccm betrug.

Versuch.

Es gelangten 30 Bläschen in jeder Minute in das Diffusionsrohr.

Die Länge des CO_2-Bläschens (L_{CO_2}) betrug 1 cm, die des Hg-Säulchens (L_{Hg}) 2 cm. Demnach Ed = $^2/_3$ Sek.; Rd = $1\,^1/_3$ Sek. und das Verhältnis Ed:Rd = 1:2.

Um 11 h 50′ wurde der Versuch begonnen. Um 11 h 53′ war der Anfang der positiven Reaktion sichtbar.

Bis 12 h 00′ war der Sproß 2 Teilstriche nach dem Rohre hin vorbeigegangen.

Die Bewegung nahm ihren gewöhnlichen Verlauf.

Nach 40 Min. wurde der intermittierende Strom abgestellt: es erfolgte eine Nachwirkung, stets nach dem Diffusionsrohre hin, die noch $^1/_2$ Stunde dauerte: dann kamen 10 Min. Stillstand; darauf folgte das Zurückkehren in die normale Lage.

Dasselbe Resultat gab folgender Versuch mit 34 Bläschen in jeder Minute.

$L_{CO_2} = {}^3/_4$ cm, die Menge der CO_2 also etwas kleiner als 0,01 ccm bei jeder Einwirkung; Ed : Rd = $1 : 2\,^2/_3$.

Nach 3 Min. wurde der Anfang der positiven Krümmung im Mikroskop sichtbar.

Versuch.

Bei diesem Versuch diffundierten 32 Bläschen in jeder Minute aus dem Tonrohr:

$L_{CO_2} = 1$ cm; $L_{Hg} = 1{,}5$ cm.

Ed = $^3/_4$″; Rd = $1\,^1/_8$″; Ed : Rd = 1 : 1,5.

Der Versuch dauerte 1 Stunde und hat eine positive, mit unbewaffnetem Auge deutlich sichtbare Krümmung ergeben.

Folgendes Beispiel gibt das Umschlagen der positiven in die negative Reaktion an.

Versuch.

Jede Minute kamen 30 Bläschen in das Tonrohr.

$L_{CO_2} = 1$ cm; $L_{Hg} = 2$ cm.
Ed = $^2/_3$"; Rd = $1^1/_3$"; Ed:Rd = 1:2.

Nach 3 Min. wurde eine leichte Bewegung zu dem Rohre hin sichtbar, die noch 7 Min. dauerte. Dann trat Stillstand ein. Darauf ging die Bewegung in eine negative über.

In dem folgenden Beispiel kam von Anfang an eine negative Krümmung zustande.

Versuch.

Es wurden 40 Bläschen in jeder Minute in das Tonrohr geleitet.

$L_{CO_2} = 1$ cm; $L_{Hg} = 1^1/_2$ cm.
Ed = $^3/_5$"; Rd = $^9/_{10}$": Ed:Rd = 1:1,5.

Nach 5 Min. wurde der Anfang einer negativen Bewegung konstatiert. Nach $^1/_2$ Stunde wurde die negative Krümmung mit unbewaffnetem Auge deutlich sichtbar. Im Mikroskop ging die Reaktionsbewegung mit einer Schnelligkeit von ca. 2 Mikrometerteilen alle 5 Min. vor sich. Nach dem Abstellen des Stromes wurde die Bewegung sofort verlangsamt, auf 0,75—0,5 Mikrometerteile in je 5 Min. Dann trat Stillstand von ca. 10 Min. ein und darauf das Zurückkehren des Keimlings in die normale Lage.

Die Mengen von CO_2, die 0,02 ccm bei jeder Einwirkung betrugen, riefen negative Reaktionskrümmungen hervor.

Es seien zwei Beispiele angeführt.

Versuch.

Zahl der Bläschen in 1 Min. = 30.

$L_{CO_2} = 2$ cm; $L_{Hg} = 2$ cm.
Ed = 1"; Rd = 1"; Ed:Rd = 1:1.

Nach 3 Min. entfernte sich der Keimling eine kurze Strecke von dem Rohre weg. Während der nächsten 30 Min. wurden noch weitere 12 Mikrometerteile von dem Rohre weg durchlaufen.

Versuch.

Dasselbe Resultat wurde für eine Zahl von 24 Bläschen in 1 Min. beobachtet.

$L_{CO_2} = 2$ cm; $L_{Hg} = 2$ cm.

Ed = $1^1/_4$"; Rd = $1^1/_4$"; Ed : Rd = 1 : 1.

Nach 5 Min. wurde der Anfang der Wegkrümmung sichtbar.

Nach $^3/_4$ St. wurde der Strom abgestellt. Die Nachwirkung dauerte 40 Min.

Unter diesen Versuchsbedingungen, also bei der Einwirkung von 0,02 ccm CO_2 bei jeder einzelnen Reizung, konnte man durch eine Veränderung der Einwirkungsrichtung ziemlich schnell eine entsprechende Veränderung der induzierten Bewegung hervorrufen.

Versuch.

Es gingen jede Minute 20 Bläschen von CO_2 in das Tonrohr hinein.

$L_{CO_2} = 2$ cm; $L_{Hg} = 2$ cm.

Ed = 1,5'; Rd = 1,5'; Ed : Rd = 1 : 1.

Die negative Bewegung wurde schon nach 2 Min. sichtbar.

Das Tischchen mit der Pflanze wurde umgedreht, so daß jetzt die CO_2 auf die entgegengesetzte Flanke des Sprosses einwirkte und die schon induzierte Bewegung die Pflanze zu dem Rohre hin führte. Nach 10 Min. wurde diese früher induzierte Bewegung überwunden und der Keimling krümmte sich wieder von dem Rohre weg, in der neu induzierten Richtung.

Das letzte Beispiel soll eine erfolglose Reizung, bei zu großem Verhältnisse von Ed : Rd vergegenwärtigen. 20 Bläschen diffundierten während jeder Minute auf die Pflanze aus. Ed = $^3/_5$"; Rd = $2^2/_5$"; Ed : Rd = 1 : 4.

Die intermittierende Reizung und die Beobachtung dauerten 1 Stunde. Es wurde keine Reaktion bemerkbar, obwohl das Wachstum während der ganzen Zeit vorhanden war.

Ich möchte mir einstweilen noch gar keine verallgemeinernden Schlüsse auf Grund dieser Versuche erlauben. Sie sollen nur als ein erster Anfang zu der Untersuchung der mannigfaltigen Fragen angesehen werden, die bei aeroïdotropischen intermittierenden Reizungen in Betracht kommen können.

Die gebrauchte Methodik scheint allerdings die Möglichkeit zu weiteren Untersuchungen zu geben.

II. Methodologischer Teil.

Einleitung.

Die Erscheinungen der Reizbarkeit bei den Pflanzen sind von Pfeffer, wie bekannt, als „Auslösungsprozesse" bezeichnet worden[1]).

Daß man eigentlich alle „physiologischen" Prozesse als solche, also als Reizerscheinungen, betrachten müsse, ist in der letzten Zeit hin und wieder betont worden[2]). In den Reizerscheinungen im engeren Sinne des Wortes kommt nur der Auslösungscharakter jener Prozesse besonders anschaulich zum Vorschein.

Es ist aber methodisch von großer Wichtigkeit, nachdem die Reizerscheinungen als Auslösungsprozesse anerkannt sind, den spezifischen Charakter dieser „physiologischen Auslösungsprozesse" hervorzuheben, der sie als eine besondere Gruppe — eben als „Reizerscheinungen" — von anderen Gruppen der Auslösungsprozesse gesondert zu betrachten erlaubt.

Dieser spezifische Charakter wurde von Pfeffer in folgender Weise bestimmt. Er sagt, daß „jede auslösende Wirkung auf den und in dem lebenden Organismus als Reiz zu bezeichnen ist. Reizbarkeit kommt hiernach nur dem lebenden Organismus zu, und nur insofern die Auslösung an den lebendigen Zustand

---

1) Pfeffer, W., „Die Reizbarkeit der Pflanzen", 1893.

2) S. z. B. Jost, L., „Vorlesungen über Pflanzenphysiologie", 1908, 2. Aufl., S. 509.

des Organismus gekettet ist, haben wir dann von Reiz und Reizwirkung zu sprechen“[1]).

Man könnte dementsprechend sagen, daß Auslösungsprozesse, die als Reizerscheinungen bezeichnet werden, also „physiologische Auslösungsprozesse“, darin etwas von den physikalisch-chemischen Auslösungsprozessen Verschiedenes aufweisen, daß in ihrer Kette als nur ihnen eigenes spezifisches, dabei aber notwendiges Glied — das lebendige Plasma auftritt.

Es wird mit dieser Eigentümlichkeit also ein Glied in die Kette der Erscheinungen eingefügt, das wie von der experimentellen, so auch von der theoretischen Seite aus betrachtet, ein großes Unbekanntes ist. Darum enthält auch jedes Experiment über die Reizerscheinungen etwas Unsicheres, vielmehr Unbeendetes, und jede Schlußfolgerung daraus die Möglichkeit der Vieldeutigkeit.

Daraus ergeben sich bestimmte Anforderungen für die Behandlung dieser Art von Auslösungsprozessen. Fürs erste wird eine besondere Vorsicht in der Versuchsanordnung auf diesem Gebiete und eine kritische Stellung gegenüber allen auf ihm konstatierten „Tatsachen“, und zweitens nicht weniger, eine sorgfältige Prüfung des wissenschaftlichen Wertes der möglichen „Deutungen“ und der Wege, die im Denken zu ihnen führen, erforderlich.

Es war eine tiefe Einsicht in das Wesen dieser speziellen Forderungen, die Hermann v. Helmholtz in seinen „Erinnerungen“ auf folgende Weise formuliert:

„Ein anderes Gebiet habe ich noch betreten, auf welches mich die Untersuchungen über Sinnesempfindungen und Sinneswahrnehmungen führten, nämlich das der Erkenntnistheorie. Wie ein Physiker Fernrohr und Galvanometer untersuchen muß, mit denen er arbeiten will, sich klar machen, was er damit erreichen, wo sie ihn täuschen

1) Pfeffer, W., „Lokomotorische Richtungsbewegungen durch chemische Reize“. Unters. aus dem Bot. Inst. zu Tübingen, 1884, Bd. I, S. 472—473. (Von mir gesperrt.)

können, so schien es mir geboten auch die Leistungsfähigkeit unseres Denkvermögens zu untersuchen“[1]).

Diesen Gedanken sollte jeder Physiologe als Motto für seine Arbeit wählen, da gerade bei der Untersuchung der Lebensprozesse nicht allein das Experimentieren, sondern auch das Denken des Experimentierenden der Tiefe der vorliegenden Probleme angepasst und ihnen entsprechend geschult werden muß.

In dem experimentellen Teil habe ich versucht einige methodische Forderungen näher zu präzisieren, die mir für die experimentelle Untersuchung der behandelten Vorgänge als physiologischer Auslösungsprozesse von Wichtigkeit schienen[2]). Hier möchte ich, wie ich schon in der Einleitung zu der ganzen Arbeit erwähnt habe, der zweiten Anforderung, die aus der Eigentümlichkeit dieser Art der Auslösungsprozesse herausfließt, einigermaßen genügen, nämlich einige Begriffe und Ausdrücke, die einer Vieldeutigkeit Raum lassen, einer hauptsächlich logischen Prüfung unterwerfen, um zu versuchen, ihre Herkunft, ihren wissenschaftlichen Wert und die Grenzen ihres möglichen wissenschaftlichen Gebrauches aufzuhellen.

Eine Schritt für Schritt geführte methodologische Untersuchung würde gewiß eine spezielle Arbeit für sich fordern; hier sollen nur einige mir besonders wichtig scheinende Momente ermittelt werden.

Die Hauptaufmerksamkeit erfordern die vielen Begriffe und Ausdrücke, die in jeder Arbeit über die Pflanzenphysiologie gebraucht werden müssen, und doch ihren Ursprung einer ganz anderen Wissenschaft, nämlich der Psychologie verdanken. Mit ihnen pflegt infolge dieser Entlehnung einmal dieser, ein anderes Mal jener, oder sogar ein völlig unbestimmter Inhalt verbunden zu werden.

Beispiele solcher Begriffe und Ausdrücke sind zahllos. Man braucht sie nicht einmal zu suchen. Ein erstes liefert der Begriff der „Reaktionszeit“, der, wie bekannt, seinen Ursprung der soge-

1) Helmholtz, v. H., „Vorträge und Reden“, 1903, Bd. 1, 5. Aufl., S. 16.
2) S. exp. Teil, viertes Kapitel.

nannten „persönlichen Differenz“ der Astronomen verdankt[1]). Ein zweites bieten die Angaben und Tabellen von Pfeffer oder Massart, in denen die „Empfindlichkeit“ der Pflanzen direkt mit der des Menschen verglichen wird[2]); aus ihnen ergibt sich, daß „unser Vermögen der Unterschiedsempfindlichkeit ... viel feiner“ als das der niederen Pflanzen sei. Diesem Resultate ist ein anderes über das Empfindlichkeitsvermögen der höheren Pflanzen zur Seite zu stellen. Es wurde neuerdings von Pringsheim ermittelt und folgendermaßen charakterisiert: die Sensibilität der höheren Pflanzen steht als solche „in der Feinheit der quantitativen Abstufung der der Tiere durchaus nicht nach[3])“. Endlich ist an die bedeutungsvollen Worte von Rothert zu erinnern, die schon in dem experimentellen Teile angeführt worden sind, daß nämlich die Empfindlichkeit bei den Pflanzen viel länger als irgend welche Reaktionsfähigkeit bestehen bleiben kann[4]) usw.

Es ist nicht zu leugnen, daß in solchen Begriffen und Ausdrücken ein ausreichender Grund für eine Vieldeutigkeit liegen kann. Und viele ernste und bedeutende Naturforscher stehen ihnen etwas unsicher gegenüber.

Als Beispiel solcher Unsicherheit, die zugleich die Wahrhaftigkeit eines ernsten Forschers zeigt, der sich keine voreilige Behauptungen erlauben will, können folgende Worte von Oltmanns dienen:

„Die besprochenen Reizerscheinungen haben nach allem ihren letzten Grund in dem Empfindungsvermögen des Protoplasmas, nur

1) S. z. B. Wundt, W., „Vorlesungen über die Menschen- und Tierseele“, 1906, 4. Aufl., S. 294 ff.

2) Pfeffer, W., „Über chemotaktische Bewegungen von Bakterien, Flagellaten und Volvocineen“. Unters. aus d. Bot. Inst. zu Tübingen, 1888, Bd. II, S. 637. — Massart, J., „Recherches sur les organismes inférieurs“. Bull. de l'Acad. d. Sc. de Belgique, 1888, p. 599.

3) Pringsheim, E., „Einfluß der Beleuchtung auf die heliotropische Stimmung“. Cohns Beitr., 1907, S. 302.

4) Rothert, W., „Über Heliotropismus“. Cohns Beitr., 1896, S. 180. S. exp. Teil, S. 129, 130—131.

wenn dieses Intensitätsunterschiede gleichsam wahrnimmt, dann erfolgt eine Reaktion" . . . . „Damit schreiben wir aber den Pflanzen ein Empfindungs- oder Unterscheidungsvermögen zu, welches von dem Empfindungsvermögen der Tiere nicht wesentlich abweicht, und ich trage kein Bedenken, die durch unbewußte Empfindungen herbeigeführten Reflexe in eine Linie mit den hier beobachteten Erscheinungen zu stellen". Nun aber weiter: „Wäre das der Fall [nämlich, daß diese Vorgänge „primitive psychische Prozesse" wären], so müßte man den [höheren] Pflanzen auf Grund ihrer Reizbarkeit eine Psyche zuerkennen. Dazu nötigen aber die vorliegenden Beobachtungen kaum." Wiederum: „Mag dem sein, wie ihm wolle, so viel scheint mir festzustehen, daß das Empfindungsvermögen bei Tieren und Pflanzen auf derselben Basis beruht"[1]).

In der Unsicherheit dieser Sätze kann man wohl nur eine gewisse Ehrfurcht vor dem Unbekannten erblicken, die für jede wissenschaftliche Forschung von großem Werte ist. Andererseits aber hat die Vieldeutigkeit der für dieses Erscheinungsgebiet gebrauchten Begriffe zu zwei diametral entgegengesetzten, in ihrer Einseitigkeit gleich unberechtigten und der Kompliziertheit der Tatsachen gleich wenig entsprechenden Richtungen Anlaß gegeben.

Die eine sieht von vornherein jede Möglichkeit psychischer Vorgänge bei den niederen Tieren, und um so mehr bei den Pflanzen, als ausgeschlossen an. Mit wahrhaft mystisch gefärbter Vorwegnahme will sie die psychischen Vorgänge nur auf die Menschen und vielleicht auf höhere Tiere beschränken, ohne zu sagen oder auch nur zu fragen, warum und wo sie das Recht besitzt, diese Grenze zu ziehen oder aus welchen Gründen sie eine solche überhaupt annehmen will und kann.

Sie behauptet einfach: es darf nichts psychisches in den Lebenserscheinungen der niederen Tiere und der Pflanzen angenommen werden, und würde fortfahren dies zu behaupten, wenn auch dadurch alle Tiere und Pflanzen zu einem so fatalen Tod wie Loebs Raupen

1) Oltmanns, Fr., „Über die photometrischen Bewegungen der Pflanzen". Flora, 1892, S. 264—265.

verurteilt würden. Die Raupen von Porthesia sollen nämlich nach Loeb „mit absoluter Notwendigkeit" durch den positiven Heliotropismus und den negativen Geotropismus an den Sprossen bis zur Spitze aufwärts zu kriechen gezwungen werden; der Thigmotropismus halte sie dann an den kleinen Knospen fest[1]).

Sie sind aber positiv heliotropisch nur so weit sie nüchtern sind, „sobald sie gefressen haben, verlieren sie ihren Heliotropismus" (also auch ihren negativen Geotropismus und ihren Thigmotropismus?) und müssen nun wieder „mit absoluter Notwendigkeit" herunter kriechen[2]).

Über eben diesen Punkt äußert sich ein anderer Forscher auf diesem Gebiet folgendermaßen:

„Es ist eine allgemein bekannte Tatsache, daß Raupen, die nicht mehr nüchtern sind, überhaupt nicht wandern, sondern ruhig sitzen bleiben, es sei denn, daß sie gerade zur Häutung oder zur Verpuppung einen anderen Platz aufsuchen müssen. Sonst kriechen sie erst dann von ihrem alten Fraßplatz herunter, wenn sich ein erneutes Nahrungsbedürfnis einstellt, für das sie kein Futter mehr finden. Dann sind sie aber bereits wieder nüchtern, also nach Loebs Behauptung positiv heliotropisch. Was folgt aus diesen biologischen Tatsachen? Daß die Raupen nach jener schönen heliotropischen Theorie bereits auf dem ersten Stamm oder auf dem ersten Zweig des ersten Stammes mit absoluter Notwendigkeit verhungern müßten"[3]).

Solche Beispiele deutlicher Inadäquatheit der „Erklärungen" dieser Art mit den zu erklärenden Tatsachen könnte man in größerer Zahl anführen; dieses eine ist jedoch typisch genug um zu zeigen, wie

1) Loeb, J., „Der Heliotropismus der Tiere und seine Übereinstimmung mit dem Heliotropismus der Pflanzen". Würzburg, 1890, S. 42.

2) Ders., „Einleitung in die vergleichende Gehirnphysiologie und vergleichende Psychologie mit besonderer Berücksichtigung der wirbellosen Tiere". Leipzig, 1899, S. 126—127.

3) Wassmann, E., „Einige Bemerkungen zur vergleichenden Psychologie und Sinnesphysiologie". Biol. Zentralbl., 1900, Bd. XX.

wenig man sich um die Kompliziertheit der Lebenserscheinungen kümmern möchte, wenn es ein Glaubenspostulat durchzusetzen gilt.

Wie von dem Standpunkte der einzelnen tatsächlichen Beobachtungen, so zeigt sich diese Richtung auch von Seiten der allgemeinen Erwägungen schwerlich begründet.

Sie will z. B. aus allgemeinen methodologischen Erwägungen die Notwendigkeit einer „objektiven Nomenklatur" für die physiologischen Erscheinungen ableiten[1]). Es wird aber kein Naturforscher, kein Philosoph und kein Logiker begründen können, warum „Stiborezeptor" als Zeichen eines „objektiveren" Inhalts angesehen werden soll als Nase, oder Tastorgan eines „subjektiveren" als Tangorezeptor[2]).

Nicht vorsichtiger angesichts der Tatsachen und nicht behutsamer gegenüber den logischen und erkenntnistheoretischen Grundlagen der Erwägung erscheinen die Behauptungen der entgegengesetzten Richtung.

Diese Richtung trägt öfters einen „popularisierenden" Charakter; die nächstliegenden Assoziationen, die mit einer Benennung verknüpft werden können, werden angenommen, und ohne ihren Wert zu prüfen wird auf ihnen weiter gebaut.

Nach ihr „müssen" den Pflanzen „Empfindung, Wille und Vorstellungen" zugeschrieben werden[3]). Von da aus führt nur ein Schritt zu solchen Behauptungen wie die folgenden: „Alles was ein

---

1) Th. Beer, A. Bethe und J. v. Uexküll, „Vorschläge zu einer objektivierenden Nomenklatur in der Physiologie des Nervensystems". Zentralbl. f. Phys., 1899, Bd. XIII.

2) v. Uexküll nimmt allerdings in dieser Beziehung eine bis zu einem gewissen Grade selbstständige Stellung ein. Aber auch vom Standpunkte des psycho-physischen Parallelismus, den er zu vertreten scheint (s. v. Uexküll, „Über die Stellung der vergleichenden Physiologie zur Hypothese der Tierseele". Biol. Zentralbl., 1900, Bd. XX), läßt sich die „Objektivierung" der „physiologischen" Erscheinungen, die eben keine physikalischen sind, in dieser Weise nicht durchführen.

3) Z. B. Francé, K. H., „Grundriß einer Pflanzenpsychologie, als einer neuen Disziplin induktiv forschender Naturwissenschaft". Zeitschr für den Ausbau der Entwicklungslehre, I. Jahrg., 1907, S. 99.

lebendes Wesen nur darbieten kann, zeigt auch die Pflanze: Bewegung, Empfindung, die heftigste Reaktion auf rohen Eingriff und innigen Dank auf Wohltat“[1]) usw. Es ist nicht nötig, sich hierbei weiter aufzuhalten.

Die richtigen Kunstwerke, z. B. die schönen poetischen Bilder von dem „Seelenleben der Pflanzen“ des großen Künstlerphilosophen Fechner in seiner „Nanna“[2]) oder in seiner Schrift über „Die Tagesansicht gegenüber der Nachtansicht“[3]), können hier nicht in Betracht gezogen werden. Dem Künstler soll eigentlich alles erlaubt sein, da die Inhalte seiner Werke das Leben durch ganz andere als wissenschaftlich logische Werte bereichern und vertiefen.

Außer mit den Anschauungen der zuerst erwähnten vereinfachenden Richtung und den Meinungen der Popularisatoren hat man noch mit Ansichten vieler ernster und bedeutender Gelehrten zu rechnen, die aus wohldurchdachten wissenschaftlichen Gründen ausgesprochen zu der Annahme des Psychischen im Pflanzenleben hinneigen und diese ihre Ansicht auch öffentlich vertreten. Es sei hier unter den Pflanzenphysiologen auf Fr. Darwin in England[4]) und den Akademiker A. Famintzin in Rußland[5]); dann auch auf den Akademiker Professor Bechterew[6]), sowie auf die Philosophen Benno Erdmann[7]) und Wundt[8]) hingewiesen.

Die Frage also ist weder einfach zur Seite zu schieben, noch

---

1) Francé, K. H., „Das Sinnesleben der Pflanzen“. Stuttgart, 1905.

2) Fechner, G. Th., „Nanna oder über das Seelenleben der Pflanzen“. 2. Aufl., 1899.

3) Ders., „Die Tagesansicht gegenüber der Nachtansicht“, 2. Aufl., 1904.

4) Fr. Darwin, „Lectures on the Physiology of movements in Plants“. The New Phytologist, 1906, 1907.

5) Famintzin, A., „Die moderne Naturwissenschaft und Psychologie“. S. Petersburg, 1898.

6) Bechterew, W., „Psyche und Leben“. (2. Aufl., S. Petersburg, 1904). 2. Aufl., Wiesbaden, 1907.

7) Erdmann, B., „Wissenschaftliche Hypothesen über Leib und Seele“, 1907 (13. Vorlesung).

8) Wundt, W., „Vorlesungen über die Menschen- und Tierseele“, 4. Aufl. 1906 l. c. (23. Vorlesung).

auch leicht abzufertigen. Sie fordert mit vollem Ernst ihrem Wesen nach untersucht zu werden. Der Zweck der Untersuchung braucht nicht gerade das „Entscheiden", sondern nur die Analyse des Problems zu sein.

Die Untersuchung wird sich, wie gesagt, hauptsächlich auf die logische Geltung des Schlusses auf das Psychische und dann auf die Besprechung des Erkenntniswertes des logisch Berechtigten beschränken.

Und soweit sie einen solchen „formalen" Zweck hauptsächlich im Auge behalten wird, wird für sie folgendes charakteristisch sein, was von Anfang an ausdrücklich betont werden muß. Nämlich erstens:

Das Psychische soll hier nur als eine Art von Erscheinungen in Betracht gezogen werden, die in ihrer Eigentümlichkeit durch diese Benennung von anderen Erscheinungen unterschieden werden sollen. Es soll daher außer Betracht bleiben, ob jemand diese Erscheinungen als eine eigene Spontaneität besitzende, oder als kausale Folgen der physikalisch-chemischen Vorgänge, oder endlich als diesen parallel verlaufende Prozesse annehmen will. Die Art und Weise der Relation zwischen Physischem und Psychischem kommt hier gar nicht in Betracht. Irgend eine Hypothese hierüber ist auch für den gestellten Zweck, wie weiterhin klar werden wird, gar nicht notwendig.

Ferner zweitens:

Ebensowenig wird auch die inhaltliche Seite des „Psychischen" selbst berücksichtigt werden müssen. Darum werden auch alle Beweise für das Vorhandensein oder das Nichtvorhandensein des Psychischen bei den Pflanzen, so weit sie mit irgend welchen vermutbaren Inhalten desselben, gleichviel vom Standpunkt welcher Voraussetzungen, ob vom teleologischen oder kausalen aus usw. verbunden sind, aus der Untersuchung fortgelassen werden müssen.

In der folgenden Betrachtung werden vielmehr lediglich folgende Hauptfragen aufgestellt und einer Analyse unterworfen werden.

Auf welchem logischen Wege kommen wir zu dem Schluß auf ein psychisches Element in den Lebenserscheinungen der Pflanzen?

Ist dieser Schluß wissenschaftlich, d. i. logisch vollkommen berechtigt, oder vollkommen unberechtigt, oder berechtigt innerhalb irgend welcher bestimmten Grenzen?

Welcher logische Fehler oder welche logischen Fehler stecken in diesem Schluß, falls er teilweise oder ganz unberechtigt sein sollte?

Ist er ferner ganz oder innerhalb bestimmter Grenzen logisch berechtigt: welches kann sein Erkenntniswert für die Wissenschaft sein, d. h., kann er dazu dienen, durch neue Fragestellungen oder neue Methodik den weiteren Gang der Forschung zu unterstützen?

Jede von diesen Fragen wird ihrerseits noch einige sekundäre Fragen bedingen.

I. Abschnitt.

Allgemeine Erörterungen.

Wie kommt man zu dem Schluß auf ein psychisches Element im Pflanzenleben?

Diese Frage führt zu einer anderen, nämlich wie kommt man überhaupt zu dem Schlusse auf das Psychische? Wie bekannt, haben wir zwei Quellen, die uns das unmittelbar gegebene Material für alle unsere Erkenntnisse liefern, die der Sinneswahrnehmung und die der Selbstwahrnehmung.

Durch die Sinneswahrnehmung werden dem wahrnehmenden Subjekt die Gegenstände der „Außenwelt" gegeben.

Auf Grund der Selbstwahrnehmung gewinnt es die Erkenntnis der psychischen Inhalte seines eigenen „geistigen Lebens".

Weder durch die eine, noch durch die andere dieser Quellen können aber die Erscheinungen des psychischen Lebens außer uns, d. i. außer dem wahrnehmenden Subjekt, unmittelbar gegeben sein, weder in anderen Menschan, noch in den Tieren oder Pflanzen.

Und noch mehr: die psychischen Vorgänge „außer uns" können auch nicht als Gegenstände „möglicher Sinneswahrnehmung" oder „möglicher Selbstwahrnehmung" aus den ersten, unmittelbar gegebenen abgeleitet werden.

Sie können nur nach Analogie der Gegenstände der Selbstwarnehmung vorstellbar sein.

Logisch gefaßt stellen sich die Vorstellungsvorgänge, die uns zu der Annahme von psychischen Vorgängen „außer uns“ führen, als Analogieschlüsse dar.

Für die genaue, schrittweise verfolgte Begründung des aufgestellten Satzes sei auf das XVII. Kapitel in der Logik von Erdmann, „Logische Gliederung der Gegenstände des Denkens nach ihrem Ursprung“, sowie auch auf eine Arbeit von Becher hingewiesen[1]).

Die erste Frage also — auf welchem logischen Wege man zu dem Schlusse auf das Psychische im Pflanzenleben kommt — läßt sich mit Bestimmtheit beantworten: nur auf dem Wege des Analogieschlusses.

Der Schluß auf das Psychische im Pflanzenleben ist demnach ein Analogieschluß.

Daraus folgt etwas sehr wichtiges und folgenreiches, was sofort betont werden muß, nämlich daß die Modalität des Schlußsatzes immer nur eine problematische sein kann und bleiben wird. Damit fallen aber von Anfang an die beiden modal apodiktischen Behauptungen, sowohl über das notwendige Vorhandensein als auch auf das notwendige Nichtvorhandensein des Psychischen im Pflanzenleben, als ihrer Modalität nach logisch unberechtigt, und also nichtwissenschaftlich aus.

Die zwei weiteren Fragen, ob der Schluß auf das Psychische im Pflanzenleben als wissenschaftlich oder nichtwissenschaftlich anerkannt werden, und ob er irgend einen Erkenntniswert haben könnte, fordern eine vorhergehende Erörterung folgender Fragen.

Erstens: wann soll der Analogieschluß überhaupt als wissenschaftlich und wann als nichtwissenschaftlich gelten, d. h. welches sind die Merkmale eines wissenschaftlich zulässigen Analogieschlusses? Und

1) Erdmann, B., „Logik“, 1907, 2. Aufl., Bd. I, S. 115 ff. — Becher, E., „Philosophische Voraussetzungen der exakten Naturwissenschaften“. Leipzig, 1907, Kap. III.

zweitens: hat der Analogieschluß überhaupt irgend einen Wert im Fortschritt der Wissenschaften?

Fangen wir mit dieser letzten Frage an.

I. Zuerst also über den Erkenntniswert des Analogieschlusses überhaupt.

Dieses Problem läßt sich am besten aus der Stellung und Verbreitung dieser Schlußart in dem gegenwärtigen Bestand der Wissenschaften verdeutlichen. Zwei Forschern sei hier das Wort gegeben, einem Naturforscher, der über eine bedeutende erkenntnistheoretische und logische Bildung verfügt — nämlich Ernst Mach —, und einem Philosophen, der die naturwissenschaftlichen Kenntnisse als Grundlage jedes Philosophierens notwendig findet — Benno Erdmann.

Nach Erdmann soll der Analogieschluß als ein selbständiger Schluß dem Deduktions- und dem Induktionsschluß zur Seite gestellt werden. „Auf dem Analogieschluß ruht, logisch betrachtet, alle Psychologie, soweit sie der Bestätigung und der Kontrolle der Selbstbeobachtung durch Schlüsse aus den reagierenden Bewegungen anderer beseelter Organismen bedarf. Analogieschlüsse durchziehen deshalb die ganze Psychologie und Psychopathologie des entwickelten Menschen und bilden die wesentliche methodische Grundlage der Kinder-, die entscheidende der Tierpsychologie. Analogieschlüsse bilden ferner die methodische Voraussetzung aller Geschichtswissenschaft, sofern wir als selbstverständlich annehmen, daß die Menschen früherer Generationen in gleicher Weise beseelt waren wie wir es sind. Sie bilden, angewendet auf Menschen, die auf tieferen Kulturstufen standen, die Voraussetzung für alle ethnologische Forschung. Auf Schlüsse eben dieser Art stützen sich demnach zuletzt alle Geisteswissenschaften. In ähnlich tausendfacher Anwendung durchziehen sie die wissenschaftliche Erkenntnis der Natur sowie die praktische Verwertung dieser Erkenntnis. Sie leben ferner für die logische Betrachtung in den Bedingungen der Sprachentwicklung. Sie formen für die logische Analyse unsere wissenschaftliche Einbildung, wo immer sich ein Bild einstellt, um einen Gedanken zu bezeichnen.

Sie sind vom logischen Standpunkt aus das treibende Element in dem gestaltenden Schaffen der freien Künste[1])."

So urteilt über die Bedeutung des Analogieschlusses B. Erdmann. Bei E. Mach finden wir in seinen „Prinzipien der Wärmelehre" den Analogieschluß als ein „wissenschaftliches Prinzip" folgendermaßen beurteilt:

„Sowohl das Anpassungsbestreben im Denken des Einzelnen als auch das Streben der Mitteilung und endlich auch die Notwendigkeit der Ökonomie im Denken des Einzelnen und des Mitteilenden drängen zur Vergleichung.

„Die Vergleichung ist aber zugleich auch das mächtigste innere Lebenselement der Wissenschaft. Der Zoologe sieht in den Knochen der Flughaut der Fledermaus Finger, vergleicht die Schädelknochen mit Wirbeln, die Embryonen verschiedener Organismen miteinander und die Entwicklungsstadien desselben Organismus untereinander und erhält so statt eines Konglomerates zusammenhangloser Tatsachen ein geordnetes, aus gleichartigen Elementen bestehendes, von einheitlichen Motiven beherrschtes Bild. Der Geograph erblickt in dem Gardasee einen Fjord, in dem Aralsee eine im Vertrocknen begriffene Lake. Der Sprachforscher vergleicht verschiedene Sprachen und die Gebilde derselben Sprache. Wenn es nicht üblich ist, von vergleichender Physik zu sprechen, wie man von vergleichender Anatomie spricht, so liegt dies gewiß nur daran, daß bei einer experimenteller Wissenschaft die Aufmerksamkeit von dem kontemplativen Element allzusehr abgelenkt wird. Die Physik lebt und wächst wie jede andere Wissenschaft durch die Vergleichung."[2]).

Nicht weniger entschieden betont Mach den Erkenntniswert des Analogieschlusses in dem Kapitel „Die Ähnlichkeit und die Analogie als Leitmotiv der Forschung" in seinem Buch „Erkenntnis und Irrtum"[3]).

1) Erdmann l. c., „Logik", 1907, S. 789—790.

2) Mach, E., „Die Prinzipien der Wärmelehre". Leipzig, 1900, 2. Aufl., S. 397.

3) Mach, E., „Erkenntnis und Irrtum". Leipzig, 1905, S. 217 ff.

Dort bringt er zahlreiche Beispiele bei, welche die außerordentliche Rolle des Analogieschlusses im Fortschritt der Physik hervorheben. Von besonderem Interesse ist dabei die enge Beziehung, die er zwischen der hohen Schätzung des Analogieschlusses bei Maxwell und dem Erfolge seiner wissenschaftlichen Arbeit findet.

„Maxwell hat die Benutzung der Analogie mit Bewußtsein zu einer sehr geklärten physikalischen Methode entwickelt. Maxwell findet, daß wir die Erscheinungen zu sehr „aus den Augen verlieren", wenn wir die Ergebnisse der Untersuchung nur in mathematischen Formeln darstellen."

Insoweit Maxwell den Wert des Analogieschlusses in der Physik in hohem Maße erkannt hat, nähert er sich nach Mach „einer idealen Methode der Naturforschung, daher seine ungewöhnlichen Erfolge" [1]).

Was speziell die Pflanzenphysiologie betrifft, so läßt sich auch hier die große Bedeutung des Analogieschlusses (immer im allgemeinen, noch nicht des Analogieschlusses auf das Psychische) für den Fortschritt der Wissenschaft nicht leugnen.

Diese Bedeutung ist schon seit längerer Zeit, besonders scharf von Dutrochet, anerkannt; unter vielem anderen in dieser Beziehung schreibt er, daß alle Erscheinungen der Pflanzenphysiologie mit denen der Tierphysiologie verglichen werden dürfen „car c'est par le rapprochement des faits, que la science devient féconde" [2]).

Auch bei Ch. Darwin finden wir eine bewußte Verwertung des Analogieschlusses in seiner grundlegenden Arbeit: „The Power of Movements in Plants" [3]).

Sachs hat die große Rolle des Analogieschlusses in der allmählichen Entwicklung der pflanzenphysiologischen Probleme in seiner

---

1) Mach, E., l. c., 1905, S. 226—227.

2) Dutrochet, M. H., „L'agent immédiat du mouvement vital, dévoilé dans sa nature et dans son mode d'action chez les végétaux et chez les animaux". Paris, Londres, 1826 (s. Avertissement).

3) Darwin, Ch., „The Power of Movements in Plants". London, 1880, p. 566, 572 u. a.

„Geschichte der Botanik“ besonders hervorgehoben[1]) und ihm eine große Wichtigkeit für die weitere Forschung der Reizerscheinungen zugesprochen[2]).

Tatsächlich sind denn auch die interessantesten Problemstellungen der Neuzeit durch Analogieschlüsse ins Leben gerufen und zur Weiterentwicklung gebracht worden. So z. B. die Aufstellung der Beziehungen des Weberschen Gesetzes in den Reizerscheinungen der Pflanzen durch Pfeffer[3]) (einstweilen gleichviel, ob das Gesetz psychophysisch nach Fechner oder physisch nach G. E. Müller[4]) gedeutet wird), der ihr eine Analogie zwischen den Reizerscheinungen der Pflanzen und des Menschen zugrunde gelegt hat. Ferner die Entstehung des ganzen Problems der Perzeption des Schwerereizes, die ihren Anstoß in der Vermutung Nolls fand, daß die Perzeption des Schwerkraftreizes bei den Pflanzen in analoger Weise geschehen könne wie bei den Tieren, d. h. vermittelst der Otocysten- resp. Statocystenstrukturen[5]). Diese Analogie betrachtet auch Haberlandt als „einen fruchtbaren wissenschaftlichen Gedanken“[6]). In verschiedenen Phasen und Beleuchtungen des Problems, wie sie einerseits bei Noll, andererseits bei Němeç und Haberlandt vorliegen, gab dieser Gedanke zu neuen Problemen und Entdeckungen Anlaß.

Soviel über den Erkenntniswert des Analogieschlusses überhaupt. Es versteht sich aber von selbst, daß nicht jeder Analogie-

1) Sachs, J., „Geschichte der Botanik vom 16. Jahrhundert bis 1860“. München, 1875.

2) Ders., „Vorlesungen über Pflanzenphysiologie“. Leipzig, 1882, S. 733.

3) Pfeffer, W., „Lokomotorische Richtungsbewegungen durch chemische Reize“. Ber. d. D. Bot. Ges., 1883, Bd. I, S. 526. — Ders., l. c., 1884, S. 480 u. a. — Ders., l. c., 1888, S. 633.

4) Pfeffer, W., l. c., 1884, S. 404—405. — Wundt, W., l. c., 1906, S. 66 ff., S. 92 ff.

5) Noll, F., „Über heterogene Induktion“. Leipzig, 1892, S. 41 ff. — Ders., „Über Geotropismus“. Jahrb. f. wiss. Bot., 1900, Bd. XXXIV, S. 502 bis 503. — Ders., „Zur Kontroverse über den Geotropismus“. Ber. d. D. Bot. Ges., 1902, Bd. XX, S. 404.

6) Haberlandt, G., „Bemerkungen zur Statolithentheorie“. Jahrb. f. wiss. Bot., 1906, Bd. LXII, S. 353—354.

schluß einen solchen Wert haben kann, sondern nur der „wissenschaftlich berechtigte“ Analogieschluß.

Somit stehen wir vor der zweiten Frage.

II. Welchen Forderungen soll ein Analogieschluß genügen oder welche Merkmale muß er zeigen, wenn er als wissenschaftlich, d. i. logisch gültig, angenommen werden soll?

Da der Erkenntniswert des Schlusses so bedeutend ist, so bekommt auch diese Frage eine ganz besondere Wichtigkeit.

Es ist dies eine Frage der Methodologie des Analogieschlusses. Eine solche Methodologie ist aber, so viel ich weiß, einstweilen noch gar nicht vorhanden. Darum ist diese Frage nicht leicht zu beantworten. Ich versuche hier einige wesentliche Merkmale des wissenschaftlich berechtigten Analogieschlusses zu ermitteln und zu formulieren. Dieses Thema ist freilich einer viel eingehender Bearbeitung würdig.

Als Hauptgrundlage der folgenden Erörterungen hat mir Wundt: „Allgemeine Logik und Erkenntnistheorie“ und „Logik der exakten Wissenschaften“ gedient[1]).

Viele wertvolle Andeutungen in dieser Beziehung findet man überdies in dem bisher erschienenen ersten Bande von Erdmanns „Logik“[2]), manche bei Sigwart[3]), einige auch schon bei St. Mill[4]).

Ich will für den Analogieschluß nicht die eine oder die andere logische Formel aufstellen, da hier einstweilen noch keine Einigkeit unter den Forschern herrscht, werde ihn aber mit Erdmann als eine selbständige Schlußform betrachten und algebraische Symbole nur gebrauchen, sofern sie als Schema des Inhalts die weiteren Erörterungen verkürzen und anschaulicher machen können.

1) Wundt, W., „Logik“; Bd. I, 3. Aufl., „Allgemeine Logik und Erkenntnistheorie“, 1906; Bd. II, 3. Aufl., „Logik der exakten Wissenschaften“, 1907.

2) Erdmann, B., l. c., „Logik“, 1907, Bd. I.

3) Sigwart, Chr., „Logik“; Bd. II, 3. Aufl., „Die Methodenlehre“, 1904.

4) Mill, St., „System der deduktiven und induktiven Logik“. Braunschweig, 1877, 4. Aufl., S. 95 ff.

Nehmen wir an, daß wir zwei Erscheinungen E_1 und E_2 haben, denen einige Bestandteile: a_1, a_2, $a_3 \ldots a_n = A$ gemeinsam sind.

Im E_1 finden sich noch andere Bestandteile: m_1, m_2, $m_3 \ldots\ldots m_n = M$, von denen wir in E_2 einstweilen nichts wissen, aber, da E_2 und E_1 in a_1, a_2, $a_3 \ldots a_n$ gleich sind, vermuten, daß sie auch in E_2 vorkommen können.

Dabei ist nicht ausgeschlossen, daß E_2 auch spezifische, nur ihm eigene Vorgänge q, q_2, $q_3 \ldots q_n = Q$ aufweist.

Die beiden Erscheinungen werden von uns also in folgende Reihen zerlegt:

$$E_1 = \overbrace{a_1,\ a_2,\ a_3 \ldots a_n}^{A} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \overbrace{m_1,\ m_2,\ m_3 \ldots m_n}^{M}$$

$$E_2 = \overbrace{a_1,\ a_2,\ a_3 \ldots a_n}^{A} \ldots \overbrace{q_1,\ q_2,\ q_3 \ldots q_n}^{Q} \ldots \overbrace{x_1,\ x_2,\ x_3 \ldots x_n}^{X}$$

Es fragt sich: wann dürfen wir annehmen, daß $X = M$ sein kann, wohlgemerkt kann, nie muß. Mit anderen Worten:

Welches sind die Merkmale eines wissenschaftlich berechtigten Analogieschlusses, also diejenigen Forderungen, die für jeden Analogieschluß, der wissenschaftlich berechtigt sein soll, bestimmend sein müssen.

1. Als das erste Merkmal kommt das schon oben erwähnte in Betracht, daß nämlich die Modalität des Analogieschlußsatzes immer nur eine problematische, nie eine assertorische oder apodiktische sein kann.

2. Zweites Merkmal: Die gemeinsamen Glieder, der E_1 und E_2 d. i. a_1, $a_2 \ldots a_n = A$ müssen wesentliche Bestandteile, wie von E_1, so auch von E_2 sein.

Ihre Zahl kommt dabei nur sekundär in Betracht[1]); die Hauptsache ist, daß sie das charakteristische, das wesentliche der zu vergleichenden Erscheinungen ausmachen.

---

1) Wundt, W., l. c., 1906, S. 328. (Also nicht so wie bei den „Wahrscheinlichkeitsschlüssen“).

3., 4. Drittes und viertes Merkmal: Es muß eine Relation zwischen a_1, a_2, a_3 . . . $a_n = A$ und m_1, m_2, m_3 . . . $m_n = M$ in E_1 bestehen.

Mit der Frage, welchen Inhalt diese Relation enthält, hat man hier nicht zu tun. Es ist aber, welchen Inhalts sie auch sei, erforderlich, daß sie einen bestimmten logischen Charakter trägt, nämlich: diese Relation zwischen A und M darf nur eine hypothetische, nie eine kategorische sein; im letzten Falle haben wir es nicht mehr mit einem Analogieschluß zu tun.

5. Fünftes Merkmal: Wenn M an sich sehr kompliziert ist und nur teiweise zu a_1, a_2, a_3 . . . $a_n = A$, also zu den gemeinsamen Bestandteilen, in Beziehung steht, so darf nur auf den Teil von M, der zu A in Beziehung steht, nicht auf das ganze M oder auf dessen größeren oder anderen Teil geschlossen werden.

6. Sechstes Merkmal: Die besonderen Bestandteile von E_2, also q_1, q_2, q_3 . . . $q_n = Q$ dürfen nicht in Widerspruch mit M stehen.

7. Das zuletzt zu erwähnende siebente Merkmal tritt aus dem Rahmen der Betrachtung des einzelnen Analogieschlusses heraus und trägt einen allgemeinen Charakter, der schon einen Übergang zu der Frage des Erkenntniswertes einschließt: der gewonnene Analogieschlußsatz darf nicht in Widerspruch zu den zurzeit angenommenen und wissenschaftlich begründeten Hypothesen und Theorien treten. Wenn er zu diesen in Widerspruch tritt, muß er entweder deren Umwertung herbeirufen oder von ihrem Standpunkte aus selbst umgewertet werden.

Diese Merkmale mögen einstweilen genügen, obwohl sie, wie schon gesagt, weitere Vertiefung und Vermehrung fordern. Aber auch in dieser Form können sie die ersten Anhaltspunkte für die weitere speziellere Untersuchung abgeben.

Abschnitt II.

Speziellere Untersuchung.

Da jetzt die Merkmale des wissenschaftlich berechtigten Analogieschlusses in den Hauptzügen aufgestellt sind und sein Erkenntniswert außer Zweifel steht, liegt die Aufgabe vor, den speziellen, hier zu untersuchenden Analogieschluß auf das Psychische in den Reizerscheinungen der Pflanzen von diesen zwei Standpunkten aus einer Prüfung zu unterwerfen.

Zuerst soll auf Grund der aufgeführten Kriterien entschieden werden, ob und in welcher Form dieser Schluß den eben bestimmten Forderungen entspricht.

Falls dies in irgend einem bestimmt begrenzten Sinne der Fall ist, wird die Frage seines Erkenntniswertes, also die Frage, ob er für den Fortschritt der Untersuchungen auf dem Gebiet der pflanzlichen Reizphysiologie bereits etwas geleistet hat oder zu leisten verspricht, zur Besprechung kommen.

Je nach der Entscheidung der ersten Frage wird er als wissenschaftlich zulässig oder unzulässig anerkannt werden müssen. Wenn unzulässig, so fällt er aus jeder weiteren wissenschaftlichen Untersuchung aus; wenn zulässig, so wird von der Entscheidung der zweiten Frage abhängig sein, ob er auch als wünschenswert oder als nicht wünschenswert betrachtet werden soll.

I. Logische Prüfung.

In diesem Falle wird E_1 die Prozesse der Reizerscheinungen bei den höheren Tieren und beim Menschen bezeichnen, soweit hier das Psychische: $m_1, m_2, m_3 \ldots m_n = M$ (wie gesagt, nur als eine besondere Art der gegebenen Erscheinungen aufgefaßt und abgesehen von ihren verschiedenen möglichen Beziehungen zu dem Physischen) feststeht, und E_2 die Prozesse der Reizerscheinungen bei den Pflanzen, von denen auf das Psychische $= X$ erst geschlossen werden soll; $a_1, a_2, a_3 \ldots a_n$ endlich bedeuten die gemeinsamen Glieder und $q_1, q_2, q_3 \ldots q_n = Q$, die für E_2 spezifischen und sie von E_1 unterscheidenden Bestandteile.

Wir haben also wieder die beiden Reihen:

$$E_1 = \overbrace{a_1, a_2, a_3 \ldots a_n}^{A} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \overbrace{m_1, m_2, m_3 \ldots m_n}^{M}$$

$$E_2 = \overbrace{a_1, a_2, a_3 \ldots a_n}^{A} \ldots \overbrace{q_1, q_2, q_3 \ldots q_n}^{Q} \ldots \overbrace{x_1, x_2, x_3 \ldots x_n}^{X}$$

und es fragt sich, ob X als etwas Psychisches vermutet werden darf.

1. Erste Forderung: Auch diese Prüfung wollen wir damit beginnen, daran zu erinnern, daß einem Analogieschlußsatz, also auch dem Schlußsatz auf das Psychische im Pflanzenleben, eben weil er ein Analogieschlussatz ist, nur eine problematische Modalität zukommen darf. Die aus den Augen verlieren hieße den logischen Sinn des Analogieschlusses vollständig verkennen.

2. Zweite Forderung: Die gemeinsamen Glieder $a_1, a_2, a_3 \ldots a_n$ müssen wesentliche Bestandteile von E_1 und E_2 sein.

Was bezeichnen in diesem Falle $a \ldots a_n$? Die Frage ist, ob sie hier die wesentlichen Bestandteile der Reizerscheinungen symbolisieren.

Um diese Frage zu beantworten, müssen einige von den übereinstimmenden Teilen der Reizerscheinungen als Beispiele angeführt werden.

Wir finden a_1, a_2, a_3 . . . a_n sowohl auf dem Gebiet der inneren Morphologie oder Anatomie der Pflanzen, wie auch in der Physiologie dieser Erscheinungen.

a_1. Als materielle Grundlage der Reizerscheinungen, die wir als a_1 bezeichnen wollen, haben wir bei den Pflanzen, wie bei den Tieren und Menschen, das lebendige Plasma, das hier wie dort den nämlichen Prozessen seinen Ursprung und seine weitere Entwicklung verdankt. Als Grund für die Differentiation verschiedener Momente in Reizprozessen haben wir hier wie dort mit einer weiteren Differentiation des Plasmas zu tun. So hat man in den materiellen Strukturen Aufnahmeorgane konstatiert, denen bei den Pflanzen, ebenso wie bei den Tieren, dieselbe Aufgabe zufällt, nämlich als Vermittler der Beziehungen zwischen der Umgebung und dem betreffenden Organismus zu dienen, bestimmte Einwirkungen der Umgebung von anderen zu isolieren und sie zu kondensieren. Im Prinzip ihres Baues sind sie bei den Pflanzen wie bei den Tieren gleich[1]).

Solche Aufnahmeorgane hat z. B. Pfeffer in „Fühltüpfeln" der Kukurbitazeenranken[2]), Haberlandt im „Sinnesepithel" oder in „Lichtorganen" einer *Fittonia*[3]) und dergleichen mehr gefunden und durch entsprechende Untersuchungen als „Vermittler", „Isolatoren" und „Kondensatoren" festgestellt[4]).

Als weiteres Beispiel des a_1, also der materiellen Grundlagen, können die Gebilde des Plasmas erwähnt werden, welche Bahnen

1) Haberlandt, G., „Sinnesorgane im Pflanzenreiche zur Perzeption mechanischer Reize", 1906, 2. Aufl., S. 189.

2) Pfeffer, W., „Zur Kenntnis der Kontaktreize". Unters. a. d. Bot. Inst. zu Tübingen, 1885, Bd. I.

3) Haberlandt, G., „Die Lichtsinnesorgane der Laubblätter", 1905, S. 107 ff.

4) Eine zusammenfassende Besprechung und Literatur über die Sinnesorgane der Pflanzen s. bei Haberlandt, G., „Physiologische Pflanzenanatomie", 1904, 3. Aufl., Abschnitt 12; „Die Sinnesorgane", S. 506 ff. Allgemeine Erörterungen in dieser Beziehung gibt in anregender Form der Vortrag von Noll, F., „Das Sinnesleben der Pflanzen", gehalten bei dem Jahresfest der Senckenbergschen Naturf.-Ges., Mai 1896.

der Fortleitung der durch Reize hervorgerufenen Erregungen darstellen.

Solche materiellen Grundlagen der Erregungsleitung liegen bei den Pflanzen wie bei den Tieren vor. Durch sie wird hier wie dort die Einheit der lebenden Substanz (im physiologischen Sinne) vermittelt. Solche den beiden Reichen gemeinsame Einheit des Plasmas sollte nach der Meinung von PFEFFER schon aus allgemeinen physiologischen Erwägungen notwendig erscheinen, so daß man dieselbe bei den Pflanzen nach PFEFFER „fordern müßte, wenn sie nicht schon entdeckt wäre“ [1]).

Die Einheit der lebendigen Substanz vermittelnden Bahnen sind bei den Pflanzen durch feinste Plasmaverbindungen, „Plasmodesmen“ vertreten, die von TANGL zuerst festgestellt [2]), später von vielen Forschern untersucht [3]), zwischen den verschiedensten Arten von Geweben [4]) und fast durch das ganze Pflanzenreich — bei den niederen Pflanzen ebenso wie bei den Phanerogamen — verbreitet gefunden [5]) worden sind. Ihren Namen haben sie von STRASSBURGER erhalten [6]), dessen Arbeit gerade für die Beziehungen zwischen Plasmodesmen und Reizerscheinungen das Interessanteste bietet, und besonders in den Tatsachen der Entstehung der Plasmaverbindungen zwischen den als Reiz und Unterlage verbundenen verwandten Pflanzen und Nichtentstehung solcher Verbindungen zwischen Parasiten und Wirtspflanzen die wichtigsten Probleme der Plasmodesmen als materiellen Grundlagen der Korrelationen berührt.

1) PFEFEER, W., „Pflanzenphysiologie“, 1897, Bd. I, S. 97.

2) TANGL, ED., „Über offene Kommunikationen zwischen den Zellen des Endosperms einiger Samen“. Jahrb. f. wiss. Bot., 1879—1881, Bd. XII, S. 170—189.

3) S. darüber die kritische Literaturstudie von FITTING, H., „Die Reizleitungsvorgänge bei den Pflanzen“, 1905, I. Teil; 1906, II. Teil. S. A. aus d. Erg. der Physiologie, 1907.

4) KUHLA, FR., „Die Plasmaverbindungen bei Viscum album“. Bot. Ztg., 1900.

5) KIENITZ-GERLOFF, F., „Neue Studien über Plasmodesmen“. Ber. d. D. Bot. Ges., 1902, Bd. XX, S. 106.

6) STRASBURGER, ED., „Über Plasmaverbindungen pflanzlicher Zellen“. Jahrb. f. wiss. Bot., 1901, Bd. XXVI.

Von diesen Beispielen ist der Übergang zu den Übereinstimmungen in physiologischer Hinsicht, die als a_2 bezeichnet werden können, leicht.

a_2. Hier finden wir zuerst die inhaltliche Gliederung der Reizprozesse bei den Tieren wie bei den Pflanzen übereinstimmend: bei allen Reizerscheinungen ohne Ausnahme unterscheidet man die Aufnahme, d. i. die Perzeption des Reizes, die Fortleitung der Erregung, die Reaktion, die Nachwirkung usw.

Übereinstimmend ist auch die Möglichkeit der zeitlichen Gliederungen in Reaktionszeit, Reaktionsdauer, Nachwirkungszeit usw.[1])

Ebenso übereinstimmend sind viele Beziehungen zwischen den einen und den anderen Bestandteilen des Reizprozesses selbst. Erwähnt seien die Verhältnisse der Weberschen Gesetzes, die wie bei dem Menschen so auch bei den höheren und niederen Pflanzen — Bakterien, Spermatozoiden, Pilzen usw. — geltend gefunden sind[2]); oder die neuerdings festgestellten Beziehungen zwischen der Intermittenz und Intensität der Lichteinwirkungen, die für die höheren Pflanzen, ebenso wie für den Menschen ihren Ausdruck in den Verhältnissen des Plateau-Talbotschen Gesetzes finden[3]) usw.

Die Möglichkeit weiterer entsprechender Gliederungen hängt hauptsächlich von der Einführung der feineren Methoden der Tierphysiologie in die Untersuchungen der Pflanzenphysiologie ab[4]).

Als a_2 sind Beispiele der gemeinsamen Gliederung des Reizprozesses in dessen Hauptvorgängen angeführt. Es seien jetzt als

1) Die im experimentellen Teil dieser Arbeit angeführten Versuche zeigen, daß die Reaktionszeiten auch bei den höheren Pflanzen ihrer Dauer nach nicht so stark, wie bis jetzt angenommen wurde, von denen der Tiere abweichen. S. Kap. 11.

2) Pfeffer l. c., 1883, S. 527—528; l. c., 1884; l. c., 1888. — Miyoshi, M., „Über den Chemotropismus der Pilze". Bot. Ztg., 1894. — Massart l. c., 1888, S. 599. — Fitting, H., „Untersuchungen über den geotropischen Reizvorgang". Jahrb. f. wiss. Bot., 1905, Bd. XLI, S. 317—318.

3) Nathanson, A. und Pringsheim, E., „Über die Summation intermittierender Lichtreize". Jahrb. f. wiss. Bot., 1907, Bd. XLV.

4) S. exp. Teil, S. 164.

a_3 Beispiele der gemeinsamen Begleiterscheinungen der Reizprozesse erwähnt.

a_3. Bei den Tieren wie bei den Pflanzen sind die Reizerscheinungen von der sogenannten „Individualität“ abhängig, was bei den Pflanzen nicht weniger als bei den Tieren das „singulare Verfahren“, d. h. die Untersuchung eines jeden Individuums für sich in vielen Fällen wünschenswert macht[1]).

Bei den Pflanzen wie bei den Tieren findet man Veränderungen in der Reizaufnahme, Reaktionen usw. im Verhältnis zu den „Stimmungen“ (die selbst wieder von den Reizeinwirkungen abhängen), deren große Rolle z. B. für die höheren Pflanzen an den Lichtreizerscheinungen eingehend von Pringsheim studiert und festgestellt worden ist[2]).

Wie bei den Tieren, so stellen sich auch bei den Pflanzen nach vielfacher Reizung „Ermüdungserscheinungen“ ein[3]). Die Ermüdungskurven zeigen dabei in den Hauptmomenten eine vollständige Übereinstimmung: bei den Tieren wie bei den Pflanzen verläuft die Reaktionskurve allmählich sinkend; nach der „Erholung“ tritt bei beiden ein neuer Aufschwung der Kurve ein[4]).

Auf die Übereinstimmungen der die Reizerscheinungen begleitenden elektrischen Erscheinungen ist öfters hingewiesen worden. Eine Zusammenstellung vieler Arbeiten in dieser Beziehung bis 1895 gibt Biedermann in seiner „Elektrophysiologie“[5]). Spätere nennt auch Tompa[6]).

1) S. exp. Teil, S. 39—41; 42.

2) Pringsheim, E., l. c., 1907.

3) Czapek, Fr., „Weitere Beiträge zur Kenntnis der geotropischen Reizbewegungen“. Jahrb. f. wiss. Bot., 1898, Bd. XXXII, S. 308. S. auch exp. Teil, S. 69—70.

4) Ermüdungskurven bei mechanischen Reizungen s. Prof. Bose, J. C., „Electrical Response in Ordinary Plants under Mechanical Stimulus“. The Journ. of the Linnean Soc., 1902, Vol. XXXV, p. 288, 289, 292.

5) Biedermann, W., „Elektrophysiologie“, 1895, Bd. II, S. 441ff.

6) Tompa, A., „Beiträge zur pflanzlichen Elektrizität“. Beih. z. Bot. Zentralbl., 1902, Bd. XII.

Burdon Sanderson hat in dieser Übereinstimmung spezielle Untersuchungen gewidmet[1]).

Wie bei den Pflanzen, so findet man auch bei den Tieren Erscheinungen, die öfters als „Gewöhnungserscheinungen" bezeichnet werden, so die ununterbrochen dauernde Wiederholung der täglichen Periodizität im Dunkeln, sogar bei Umkehrung derselben durch künstliche Beleuchtung[2]), auch die Beibehaltung der jährlichen Periodizität in neuen Klimaten[3]).

Fr. Darwin und D. Pertz ist es gelungen, durch kurze rhythmische Einwirkungen der entgegengesetzten Reizungen während einer mehr oder weniger langen Zeit einen Fortgang der rhythmischen Reaktionen, auch nach dem Abstellen der Reizeinwirkungen zu erzielen. Sie haben diese Erscheinung als „Erlernung" bezeichnet[4]).

a_4. Als a_4 sei an die gleiche Beeinflussung der Reizerscheinungen bei den Tieren, wie bei den Pflanzen durch äußere Einwirkungen erinnert, z. B. an den bekannten Einfluß der anästhesierenden Substanzen, wie Chloroform, Äther usw. Ihre Wirkung auf die Pflanzen stimmt mit der auf die Tiere vollständig überein.

Hieran knüpft sich die Einwirkung von Giften, die in den beiden Lebensreichen derselben biologischen Gesetzmäßigkeit unterworfen sind, nämlich daß Gifte in bestimmter Konzentration das

1) Burdon Sanderson, S. J., „On the Relation of Motion in Animals and Plants to the Electrical Phenomena which are associated with it". Proc. of the Royal. Soc. of London, 1900, Vol. LXV.

2) Pfeffer, W., „Die periodischen Bewegungen der Blattorgane", Leipzig, 1875. — Sachs, J., „Gesammelte Abhandlungen über Pflanzen-Physiologie", 1892, Bd. I, S. 104, 105. — Pertz, D., und Darwin, Fr., „Experiments on the Periodic Movement of Plants". Proc. of the Cambr. Phil. Soc., 1900, Vol. X. Wie groß die Rolle ist, welche die Erblichkeit in den periodischen Bewegungen der Pflanzen spielt (Kontroverse 1907—1908 zwischen Pfeffer und Semon), läßt sich einstweilen noch nicht endgültig entscheiden.

3) Schimper, A. F. W., „Pflanzen-Geographie", 1898, S. 266, 267.

4) Darwin, Fr., and Pertz, D., „On the Artificial Production of Rhythm in Plants". I. Ann. of Bot., 1892, Vol. VI, N. XXIII; II. Ann. of Bot., 1903, Vol. XVII, N. LXV.

Protoplasma töten, in geringerer Menge die Entwicklungsfähigkeit schwächen, in noch geringerer Menge aber als Reize wirken und die Lebenseigenschaften erhöhen können (Ferd. Hüppe).

Einstweilen mögen diese Beispiele der übereinstimmenden Bestandteile der E_1 und E_2 genügen, obwohl man sie kaum erschöpfen könnte, da man das volle Recht hätte mit Haberlandt zu sagen: „Ein wesentlicher Unterschied zwischen der Reizbarkeit des tierischen und des pflanzlichen Protoplasmas ist eben nicht vorhanden; die Übereinstimmung ist im Gegenteil eine überraschend große. Das ist ja bekanntlich das Hauptergebnis der vergleichenden Reizphysiologie der letzten Jahrzehnte“[1]).

Es sind aber einstweilen nur zwei Aufforderungen an den berechtigten Analogieschluß besprochen. Jetzt sollen die folgenden erörtert werden:

3. u. 4. Die dritte und die vierte Forderung: Zwischen den erwähnten übereinstimmenden Gliedern a_1, $a_2 \ldots a_n$ und M, dem Psychischen, soll in E_1 eine Relation bestehen.

Diese Relation muß eine hypothetische sein. Daß zwischen den besprochenen materiellen Grundlagen und den physiologischen Eigentümlichkeiten der Reizerscheinungen einerseits und dem Psychischen andererseits in E_1, also bei dem Menschen und höheren Tieren eine Relation, oder vielmehr die eine oder die andere Relation, aber immer doch irgend eine, angenommen wird, wird niemand bestreiten können. Ebenso wenig auch, daß alle diese möglichen Relationen hypothetische sind.

Wie gesagt kommt dabei nicht in Betracht, welche Relation aufgestellt wird — es mag die sein, daß das Psychische als kausale Folge des Dynamisch-Materiellen, d. h. des Physischen, oder umgekehrt das Psychische als

1) Haberlandt, G., „Über den Begriff „Sinnesorgan“ in der Tier- und Pflanzenphysiologie“. Biol. Zentralbl., 1905, Bd. XXV, S. 449. (Von mir gesperrt.)

die eigentliche Ursache des Physischen, oder das Psychische parallel dem Physischen verlaufend usw. vorausgesetzt wird — die Antwort auf die aufgeworfene Frage, ob die Relation besteht, ist von der Deutung der Relation unabhängig. Und in diesem Sinne wird die Antwort bejahend lauten: eine Relation besteht, und jedenfalls eine hypothetische.

5. Sehr wichtig ist die fünfte Forderung: wenn die gemeinsamen Glieder a_1, $a_2 \ldots a_n$ nicht mit dem ganzen M, sondern nur mit einem Teil von ihm in Relation stehen, darf nur auf diesen Teil und weder auf das ganze M. noch auf dessen größeren oder anderen Teil geschlossen werden. Daraus folgt eine wichtige und entscheidende Begrenzung des logisch gültigen Analogieschlusses auf das psychische Element im Pflanzenleben.

Alle die erwähnten a_1, $a_2 \ldots a_n$, die dem E_1 und dem E_2 gemeinsam sind, werden nie auf das ganze M, wie wir es in E_1 finden, bezogen werden können. Das einzige, was dabei in E_1 mit den erwähnten Daten in Relation gestellt wird, ist, daß in E_1 „Psychisches" mit a_1, $a_2 \ldots a_n$ nach einer der hypothetischen Beziehungen verbunden auftritt. Was aber den Inhalt dieses Psychischen ausmachen soll, ob es Vorstellungen, Gefühle und dergl. sein könnten, wie wir sie in uns selbst erkennen: das bleibt außerhalb der Beziehung zu den erwähnten a_1, $a_2 \ldots a_n$. Die a_1, $a_2 \ldots a_n$ sind für uns mit keinem festbestimmten Inhalte des Psychischen verbunden; also bleibt einstweilen der Inhalt des möglichen Psychischen außer dem Bereiche des logisch berechtigen Analogieschlusses.

Auch dies läßt sich jedenfalls einstweilen nicht in den Analogieschluß auf das Psychische in dem Pflanzenleben mit hinein nehmen, ob wir mit bewußten oder mit unbewußten psychischen Vorgängen bei den Pflanzen zu tun haben. Von diesen Vorgängen erheben allerdings die unbewußt psychischen Elemente, die erst bei Leibnitz zu einem psychologischen Problem geworden sind, in der modernen Psychologe mit neuen Gründen und unter neuen Gesichts-

punkten Anspruch auf eine gleichberechtigte Stellung mit den Problemen der bewußten psychischen Vorgänge[1]).

Überdies gehört die Entscheidung über das Bewußtsein oder Unbewußtsein zu der Beurteilung des Inhaltes des möglichen Psychischen. Da die a_1, a_2 . . . a_n in keine Beziehung zu irgend welchem bestimmten Inhalt des Psychischen gebracht werden können, so muß auch die Beurteilung, ob die Vorgänge bewußt oder unbewußt sind, als Frage nach dem Inhalt, ausgeschlossen bleiben.

Diese Forderung stellt also eine ganz bestimmte Begrenzung für den logisch berechtigten Analogieschluß auf das psychische Element im Pflanzenleben auf.

Man darf ein physisches Element als möglich annehmen, man ist aber nach den zurzeit vorhandenen Daten nicht berechtigt, dieses psychische Element seinem Inhalt nach zu präzisieren.

6. Nach der sechsten Forderung dürfen die speziellen nur in E_2 beobachteten Bestandteile q_1, q_2 . . . q_n der Möglichkeit des Psychischen nicht widersprechen.

Wenn wir das Psychische im Sinne der beschränkenden fünften Forderung zulassen, so findet man schwerlich einen Widerspruch zwischen allen Besonderheiten der E_2, also der Reizerscheinungen der Pflanzen, und der Möglichkeit des Psychischen, auch z. B. in dem Falle nicht, daß die materiellen Grundlagen der Reizerscheinungen bei den Pflanzen von denen bei den höheren Tieren histologisch abweichen, also auch nicht darin, daß wir bei den Pflanzen kein Nervensystem finden[2]).

---

1) Erdmann, Benno, „Wissenschaftliche Hypothesen etc.“, 1907, S. 83 ff. Literaturangaben s. bei Herbertz, R., „Bewußtsein und Unbewußtes“. Köln, 1908. Die größte Anregung für dieses Problem sollte man wahrscheinlich noch vor Leibnitz und zwar in den Werken Platos suchen, und nicht nur in seiner Lehre von der Anamnesis, sondern auch in den tief psychologischen, unvergleichlichen Schilderungen der Tatsachen der Selbstwahrnehmung, wie in ihrer Genesis, so auch in ihrem Dasein (Gegebensein).

2) Und dies ist tatsächlich der Fall. — Die Vorstellungen von Némeç über die „Nervenfibrillen“ in Pflanzen (s. Némeç, B., „Die Reizleitung und die reiz-

Ohne schon davon zu sprechen, daß die Entwicklung der Lebensprozesse verschiedene Wege einschlägt, so z. B. die Atmungs- oder Wachstumsprozesse, haben wir doch anzuerkennen, daß sich diese bei den Pflanzen auch mit spezifischen Strukturen verbinden, ohne daß damit weniger Atmung oder weniger Wachstum vorläge. Zudem sei hier noch darauf hingewiesen, daß es höchst zweifelhaft genannt werden darf, ob auch bei dem Menschen alle Reizerscheinungen nur mit dem Nervensystem verbunden auftreten. Vielmehr kann auch beim Menschen die Tätigkeit einzelner Zellen, der Spermatozoen, Leukocyten, auch der Nervenzellen selbst (amöboide Bewegungen — Ramon y Cajal), sogar ein so komplizierter Prozeß wie die Entwicklung des Embryo, in denen die Anlagen für alle psychischen Vorgänge vorhanden sein müssen usw., besondere Wege gehen [1]).

Jedenfalls bildet dieser Mangel eines Nervensystems und vieles andere, z. B. die größere Langsamkeit des Reaktionsverlaufes oder spezifische Bewegungseinrichtungen, nur Sekundärerscheinungen, die das Wesen der Frage nicht berühren, also auch nicht stören können.

7. Zuletzt kommt noch die einen allgemeineren Charakter tragende siebente Forderung in Betracht. Der Analogieschluß auf das Psychische darf nicht mit herrschenden und nichtverworfenen Theorien und Hypothesen in Widerspruch treten.

Dies wird er in der erwogenen Beschränkung auch nicht tun; vielmehr bekommt er durch einige herrschende Theorien noch eine weitere Berechtigung für sein Bestehen. Es seien als Beispiele solcher unterstützenden Theorien die Annahmen über die Entstehung

leitenden Strukturen bei den Pflanzen", Jena, 1901) haben bis jetzt keine Bestätigung gefunden.

1) Massart will sogar behaupten, daß das Nervensystem bei dem Menschen nur die gröberen Vorgänge reguliert, und wenn viele Physiologen ihm eine hervorragende Stellung einräumen, so geschähe es einfach deshalb, weil seine Wirkungen viel auffälliger sind. S. Massart, J., „Versuch einer Einteilung der nichtnervösen Reflexe". Biol. Zentralbl., 1902, S. 9—10.

der Arten und der allmählichen Entwicklung des Lebendigen erwähnt.

Wie der Darwinismus und die Heterogenesis, so nehmen auch der Lamarckismus und alle Modifikationen dieser Richtungen[1]) das Prinzip der allmählichen Entwicklung an, die einen mehr, die anderen weniger, alle aber als ein wichtiges Prinzip für ihre allgemeinen Anschauungen. Und wird dieses Prinzip einmal angenommen, so erlaubt es nicht, ihm willkürliche Grenzen zu setzen. Wenn jemand das Psychische nur auf die Menschen und höheren Tiere beschränken wollte, so könnte man ihm wohl die Worte von Errera wiederholen, die auf denselben Anlaß hin, bei Besprechung der Möglichkeit eines psychischen Elements in den Reizerscheinungen der Pflanzen, gesagt worden sind: „Et celui là sera bien habil, qui nous montrera où commence à ce point de vue la série des animaux superieurs“ [2]).

Dasselbe hat, von einem ganz anderen Standpunkt ausgehend, Verworn scharf betont, nämlich, daß man kein Recht hat, neben der allmählichen Entwicklung der organischen Strukturen von den Protisten an die allmähliche Entwicklung der psychischen Erscheinungen von eben diesen Organismen an zu leugnen[3]).

Die im vorstehenden ausgeführte Prüfung des Analogieschlusses auf das Psychische bei den Pflanzen hat zu dem Ergebnis geführt, daß er bei den Beschränkungen, die ihm die Forderungen 1 und 5 auflegen, also bei dem stetigen Aufrechterhalten der problematischen Modalität seines Schlußsatzes und dem vorläufig völligen Ausschließen jeder Beurteilung über den Inhalt des möglichen Psychischen (auch über sein Bewußtsein oder Unbewußtsein) als logisch berechtigt anerkannt werden muß.

1) S. Lotsy, J. P., „Vorlesungen über Deszendenztheorien“. Jena, I. Teil, 1906; II. Teil, 1908. Auch Plate, L., „Selektionsprinzip und Probleme der Artbildung“. Leipzig, 1908.

2) Diese Meinung hat Errera bei Gelegenheit der Besprechung des Weberschen Gesetzes für *Phycomyces* (festgestellt von Massart) in einer der Sitzungen der belgischen königlichen Akademie gegen M. Delboeuf geäußert. S. Bull. de l'Acad. R. de Sc. de Belgique, 1888, S. 552.

3) Verworn, M., „Psycho-physiolog. Protisten-Studien“. Jena, 1889, S. 4—5

Da aber die Modalität seines Schlußsatzes eine problematische ist und bleibt, so ist seine Annahme zwar für jeden Forscher möglich, für keinen aber notwendig. Man könnte vorerst nur sagen, ein Naturforscher kann diesen Analogieschluß gebrauchen, ohne unwissenschaftlich zu verfahren. Man könnte aber noch nicht sagen, er soll es tun.

Ob der Gebrauch dieses Schlusses wünschenswert ist, muß die jetzt folgende Erörterung entscheiden. Die Entscheidung hängt davon ab, ob der Analogieschluß auf das Psychische bei den Pflanzen einen Erkenntniswert besitzt und noch weiter zu erwerben vermag.

II. Erkenntniswert des vorliegenden Analogieschlusses. Es soll untersucht werden, ob dieser Schluß als Mittel zur Entdeckung neuer Tatsachen oder als Anlaß zur Aufstellung neuer Methoden dient, oder in Zukunft dienen könnte.

Die Physiologie der Pflanzen ist nur ein Teil und ein jüngerer Teil der allgemeinen Physiologie. Also ist es angebracht, wieder an Helmholtz zu denken. In seinen „Vorträgen und Reden" gibt er öfters bestimmte Hinweise auf die innige Verbindung und gegenseitige Förderung der Psychologie und Physiologie[1]).

Es seien auch die Worte des bedeutenden Histologen und Anatomen Ramon y Cajal angeführt, der den Erkenntniswert der Psychologie für Anatomie und Physiologie folgendermaßen formuliert:

„Da wo exakte anatomisch-physiologische Tatsachen gefehlt haben, sind wir, um einige Lücken zu füllen, auf die Lehre der Psychologie zurückgegangen, und die Wissenschaft von der Seele kann diejenige vom Gehirn eher wirksam unterstützen als umgekehrt". Beispielsweise waren es die „Gesetze der psychologischen Assoziation", die die Anatomen „zur Annahme der Verbindungsbahnen zwischen den kommemorativen Zentren gezwungen haben"[2]).

1) Helmholtz l. c., 1903, S. 184, 267 u. a.

2) Ramon y Cajal, „Studien über die Hirnrinde des Menschen". Übers. von J. Bresler. Leipzig, 1906, S. 46, 60.

Andererseits veranschaulicht jede ernste Darstellung der Psychologie die enge Verbindung des Fortschrittes dieser zwei Wissenschaften miteinander [1]).

Um sich den Erkenntniswert des Analogieschlusses auf das Psychische in der Erforschung des Pflanzenlebens spezieller zu verdeutlichen, konnte man ihn von drei Standpunkten aus prüfen.

Zuerst: welche Rolle könnte er für die Stellung des Naturforschers zu den vorliegenden und zu untersuchenden Erscheinungen spielen?

Zweitens: hat dieser Analogieschluß die Pflanzenreizphysiologie schon durch neue Tatsachen oder Methoden bereichert?

Drittens: könnte er für die Zukunft der Forschung neue Erkenntnisse in Aussicht stellen?

1. Was die erste Frage betrifft, also seine Bedeutung für die Stellung des Forschers zu dem ihm vorliegenden Gebiete der Forschung, so soll hier die Meinung Pfeffers angeführt werden. In der Berücksichtigung der psychischen Seite für die Fälle der pflanzlichen Reizerscheinungen dürfte nach Pfeffer „eine Mahnung vorliegen, daß wir uns die Verhältnisse in anderen Organismen nicht zu einfach vorzustellen und uns zu hüten haben, durch eine voreilige, scheinbar befriedigende Erklärung das Streben nach tieferem Eindringen zu lähmen“ [2]). Es sollte also dieser Analogieschluß den Forscher immer wieder an den speziellen Charakter der physiologischen Auslösungsprozesse erinnern, wo die noch nicht aufgedeckten Geheimnisse des lebendigen Plasmas ihm keine Rast und

1) S. z. B. Wundt, W., „Grundzüge der physiologischen Psychologie“ 1902, 5. Aufl. — Ebbinghaus, H., „Grundzüge der Psychologie“, 1905, I. Bd., 2. Aufl. — Ziehen, Th., „Leitfaden der physiologischen Psychologie“, 1908, 8. Aufl.

2) Pfeffer l. c., 1888, S. 654. An einer anderen Stelle betont Pfeffer eine andere vorteilhafte Seite dieses Analogieschlusses. Auf Anlaß der Vergleichung der „Unterschiedsempfindlichkeit“ bei den Pflanzen und beim Menschen meint er, daß dieser Vergleich „insofern ein Interesse“ haben kann, als „die eigenen Empfindungen im intellektuellen Leben die Bedeutung der besprochenen Unterschiedsempfindlichkeit“ bei den Pflanzen „dem Verständnis näher rücken“; l. c., S. 638.

keine Selbstbefriedigung auf dem Wege der immer weiter und tiefer gehenden Forschung erlauben dürfen.

2. ist die Frage, ob dieser Analogieschluß schon die Wissenschaft durch neue Tatsachen oder Methoden bereichert hatte.

Wieder haben wir zuerst der Untersuchungen von Pfeffer zu gedenken. Es ist ganz gleich, wie man das Webersche Gesetz, ob nach Fechner, Müller, oder wie sonst verstehen will: Tatsache ist, daß Pfeffer selbst zu dessen erster Entdeckung bei den Pflanzen durch den Vergleich der Beziehungen zwischen dem Reizzuwachs und den vorliegenden Erscheinungen bei den Pflanzen mit den Beziehungen zwischen dem Reizzuwachs und den Empfindungen „bei dem Menschen", wie sie in der Psychologie angegeben werden, gelangt war[1]). Und gerade dieser Vergleich hat ihm in beiden Fällen erlaubt, den gleichen mathematischen Ausdruck dafür aufzustellen.

In der neuesten Zeit hat der gleiche Weg des Analogieschlusses von der Psychologie des Menschen Nathanson und Pringsheim zur Entdeckung der schon einmal erwähnten, höchst interessanten Gesetzmäßigkeit in den Lichtreizerscheinungen bei höheren Pflanzen hingeführt und sie in der Form des Talbotschen Gesetzes auszudrücken erlaubt. Die neuen Tatsachen wurden von Nathanson und Pringsheim gefunden, indem sie „von vornherein in dem Gedanken an die Untersuchung gingen, die Gültigkeit des Talbotschen Gesetzes im Pflanzenreich zu prüfen"[2]), welches Gesetz bis jetzt nur in der Psychologie des Menschen Anwendung fand.

Es kann hier auch noch einmal an die Versuche von Fr. Darwin und D. Pertz erinnert werden[3]). Beide Forscher sind zu neuen und interessanten Tatsachen gelangt, indem sie von der Voraussetzung der „Memory", des „Habit", des „Learning" bei den Pflanzen ausgingen. Es gelang ihnen sogar eine „Erlernung" un-

1) Pfeffer l. c., 1888, S. 633.
2) Nathanson und Pringsheim l. c., 1907, S. 142.
3) Darwin and Pertz l. c., 1892; l. c., 1903.

regelmäßiger Reaktionsperioden durch längere Wiederholung der entsprechenden Reizungen zu erzielen.

Wenn sich auch vielleicht später alle diese Erscheinungen irgendwie anders erklären ließen, d. i. einer anderen Kategorie der Erscheinungen angeordnet werden müßten: die Tatsache bleibt, daß der Analogieschluß auf das Psychische zu ihrer Entdeckung geführt hat.

Zum Schluß dieser Beispiele über die Dienste, die der Analogieschluß auf das Psychische der Forschung schon geleistet hat, sei noch die Möglichkeit erwähnt, die er einigen Forschern gegeben hat, die Tatsachen des Pflanzenlebens neu zu kombinieren und von neuen Standpunkten aus zu beleuchten.

Besonders interessant ist in dieser Beziehung das Kapitel in den „Lectures on the Physiology of Movements in Plants" von Fr. Darwin — „Associated Stimuli".

Fr. Darwin geht von einem Standpunkt aus, den er selbst folgendermaßen formuliert: „My view of the nature of stimulus and reply depends on what in mental processes is known as association"[1]). Von diesem Standpunkte aus betrachtet er die Erscheinungen der Reaktionen, die immer durch mehr als einen Reizanlaß hervorgerufen werden, und meint, daß es genüge, nur einen von ihnen zur Einwirkung zu bringen, um die Pflanze, die an deren Zusammenwirken gewöhnt worden war, sofort auf die beiden reagieren zu lassen. So erfolgt z. B. die Bildung der Rhizoiden bei *Marchantia* als eine Reaktion auf die Einwirkung einerseits des Schwerereizes, andererseits des Kontaktes. Es genügt den einen oder den anderen Reizanlaß zustande zu bringen, damit die Antwort auf beide erfolge. Das will Fr. Darwin aus Assoziationen erklären: „if one of these qualities were developed, the other would follow by association."

1) Fr. Darwin, „The Lectures on the Physiology of Movements in plants". The New Phytologist, 1906; 1907; Ch.: „Associated Stimuli", p. 199 ff. — S. auch Semon, R., „Die Mneme als erhaltendes Prinzip im Wechsel des organischen Geschehens". Leipzig, 1908, 2. verb. Auflage (1. Aufl., 1904).

Ebenso „assoziiert“ nimmt Fr. Darwin in vielen Fällen die Reizeinwirkung des Lichtes und der Temperatur an. „I schould suppose that light and warmth generally occur together and that an act carried out at the suggestion of illumination would generally occur simultaneously with raised temperature“. Die Eindrücke von Licht und Wärme „would come to be associated, and accordingly it is conceivable that heat alone schould produce the effect normally due to light and heat“.

Fr. Darwin führt viele Versuche an, die entweder durch diese Voraussetzung eine Erklärung finden oder sie unterstützen. Auch hier will ich nicht auf die Richtigkeit oder Nichtrichtigkeit dieser Voraussetzungen eingehen, sondern hauptsächlich die Möglichkeit neuer Kombinationen und neuer Beleuchtungen der Tatsachen in ihnen berücksichtigen.

Ohne Zweifel wird das Vorhandensein solcher Erklärungen die Methodik der entsprechenden Experimente ungemein komplizieren und ganz neue Versuchsanordnungen fordern, wenn mit voller Berechtigung eine getrennte Einwirkung der Reizanlässe, z. B. des Lichts und der Wärme, behauptet werden soll. Es ist aber kein Nachteil solcher neuen Erklärungsversuche, wenn sie zu neuen Experimenten und Versuchsanordnungen anregen, da man selbst um sie nur zu widerlegen viel neues wird entdecken müssen. Damit gehen wir zu dem dritten Standpunkte über.

3. Es fragt sich nämlich endlich, ob der Analogieschluß auf das Psychische im Pflanzenleben auch für die Zukunft neue Erkenntnisse verheiße.

Da er bis jetzt zu neuen Tatsachen geführt hat, so liegt kein Grund vor anzunehmen, daß er dies nicht auch weiter tun sollte.

Jedenfalls läßt er, da er neue Kombinationen, resp. „Erklärungen“ der schon vorhandenen Tatsachen erlaubt, neue Fragestellungen aufstellen, also Untersuchungen unter neuen Gesichtspunkten ausführen, welche die Wissenschaft neu befruchten können. Jedenfalls stellt er die vielen sogenannten „in-

direkten Messungen“[1]) und auch die vielen Beobachtungsmethoden der Psychologie der Untersuchung des Pflanzenlebens zur Verfügung, kann also auch in dieser Beziehung erweiternd wirken.

Es ist endlich nicht unwahrscheinlich, daß entsprechende Versuche bei den Pflanzen zu Umwertungen in der Tier- und Menschenpsychologie Anlaß geben würden, so daß der hier in Betracht kommende Analogieschluß auch für die Erkenntnis der Lebensvorgänge überhaupt nicht geringe Dienste leisten könnte.

Wenn wir jetzt die Ergebnisse der ausgeführten Untersuchung im ganzen zusammenfassen, so lassen sie sich folgendermaßen formulieren.

I. Der Analogieschluß auf das Psychische im Pflanzenleben in dem oben erörterten Sinne[2]) und in der festgestellten Beschränkung ist logisch berechtigt, also in der Wissenschaft zulässig.

II. Als Analogieschluß kann er infolge der problematischen Modalität seines Schlußsatzes für niemanden obligatorisch sein.

III. Da er sich aber einen bestimmten Erkenntniswert in der Untersuchung der Reizerscheinungen erworben hat und auch für die weitere Forschung verheißt, so kann er in vielen Fällen wünschenswert erscheinen.

---

1) S. z. B. Ebbinghaus, H., „Grundzüge der Psychologie“. Leipzig, 1905, Bd. I, S. 76ff.

2) S. S. 192.

Literatur-Verzeichnis

für den

experimentellen Teil.

1907. Bach, H., „Über die Abhängigkeit der geotropischen Präsentations- und Reaktionszeit von verschiedenen äußeren Faktoren". Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XLIV.

1904. Bennet, M. E., „Are roots aerotropic?" Bot. Gazette, Vol. XXXVII.

1895. Biedermann, W., „Elektrophysiologie" Jena.

1877. Bunsen, R., „Gasometrische Methoden". Braunschweig, 2. Aufl.

1882. } Burdon-Sanderson, I., „Die elektrischen Erscheinungen am *Dionaea*-
1889. } Blatt". Biol. Zentralbl., Bd. II; Bd. IX.

1897. Celakovsky, L. ml., „O aërotropismu houby Dictyuchus monosporus". Sitzber. d. Königl. Böhm. Ges. der Wiss., Mat. Nat. Kl. Nach dem
1898/99. Ref. in Beih. d. Bot. Z.

1872. Cisielski, Th., „Untersuchungen über die Abwärtskrümmung der Wurzel". Cohns Beitr. zur Biol. der Pfl., Bd I.

1902. Chapin, P., „Einfluß der Kohlensäure auf das Wachstum". Flora, Erg.-Bd. XCI.

1906. Cholodnyi, N., „Zur Frage über die Verteilung der geotropischen Sensibilität in der Wurzel". Schr. d. Naturforschervereins in Kiew.
1907. Ref. von Rothert, Bot. Zeit., II. Abt.

1895. Czapek, Fr., „Untersuchungen über Geotropismus". Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXVII.

1898. Ders., „Weitere Beiträge zur Kenntnis der geotropischen Reizbewegungen". Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXXII.

1900. Ders., „Über den Nachweis der geotropischen Sensibilität der Wurzelspitze". Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXXV.

1901. Ders., „Über den Vorgang der geotropischen Reizperzeption in der Wurzelspitze". Ber. d. D. B. Ges., Bd. XIX.

1899. Darwin, Fr., „On Geotropism and the Localisation of the Sensitive Region". Ann. of. Bot., Vol. XIII.

1901. Ders., „Preliminary Note on the Function of the Root-tip in Relation to Geotropism". Proceed. Cambridge, Philos. Soc., Vol. XI, P. II.

1902. Ders., „On a Method of Investigating the Gravitational Sensitiveness of the Root-tip". The Journ. of the Linnean Soc, Vol. XXXV.

1905. Ebbinghaus, H., „Grundzüge der Psychologie", Bd. I, 2. Aufl.

1890. Elfving, Fr., „Über physiologische Fernwirkung einiger Körper". In Commentationes variae in memoriam actorum CCL annorum, edidit Universitas Helsingforsiensis.

1891. Ders., Dasselbe französisch: „Sur une action directrice, qu'exercent certains corps sur les tubes sporangifères de Phycomyces nitens". Ann. de l'Inst. Pasteur, T. V.

1893. Ders., „Zur Kenntnis der pflanzlichen Irritabilität". S.-Abdr. aus d. Öfversigt af Finska Vet. Soc. Förhandlingar, H. XXXVI.

1884. Errera, L., „Die große Wachstumsperiode bei den Fruchtträgern von Phycomyces", Bot. Ztg.

1892. Ders., „On the Cause of Physiological Action at a Distance". Annals of Bot., Vol. VI (Vortrag geh. bei der Vers. der „British Association for the Advancement of Science" in Edinburg).

1905. Ders., „Sur l'hygroscopicité comme cause de l'action physiologique à distance, découverte par Elfving". Rec. de l'Inst. Bot. de Bruxelles t. VI.

1906. Extrait du Recueil.

1893/94. Ewart, A. I., „Observations on the Vitality and Germination of Seeds". Trans. of the Liverpool Biol. Soc., Vol. VIII.

1895/97. Ders., „On Assimilatory Inhibition in Plants". The Journ. of the Linnean Soc., Vol. XXXI. (Read. 21. Nov. 1895).

1905. Ewart, A. I., und Bayliss, J., „Über die Natur der galvanotropischen Reizbarkeit der Wurzeln". Proc. of the Royal. Soc., Ser. B.

1906. Ref. darüber in Naturw. Rundschau, N. 11.

1903. Fitting, H., „Untersuchungen über den Haptotropismus der Ranken". Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXXIX.

1904. Ders., „Weitere Untersuchungen zur Physiologie der Ranken". Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XL.

1905. Ders., „Untersuchungen über den geotropischen Reizvorgang". Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XLI.

1907. Fitting, H., „Lichtperzeption und phototropische Empfindlichkeit, zugleich ein Beitrag zur Lehre vom Etiolement". Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XLV.

1886[I]. Goebel, K., „Über die Luftwurzeln von Sonneratia". Ber. d. D. Bot. Ges.

1886[II]. Ders., „Über die Rhizophorenvegetation". Sitzber. der Naturforschenden Ges. zu Rostock. Archiv des Vereins der Freunde der Naturgeschichte in Mecklenburg, 40. Jahrg.

1887. Ders., „Bemerkung zu der Abhandlung von Jost: «Ein Beitrag zur Kenntnis der Atmungsorgane der Pflanzen»". Bot. Zeitung.

1889. Ders., „Pflanzenbiologische Schilderungen", I. T.
1891. Ders., „ „ II. T.
1904. Haberlandt, G., „Physiologische Pflanzenanatomie", 3. Aufl., Leipzig.
1908. Ders., „Über die Verteilung der geotropischen Sensibilität in der Wurzel". (Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XLV.)
1887. Jost, L., „Ein Beitrag zur Kenntnis der Atmungsorgane der Pflanzen". Bot. Zeitung.
1902. Ders., „Die Perzeption des Schwerereizes in der Pflanze". Biol. Zentralblatt, Bd. XXII.
1908. Ders., „Vorlesungen über Pflanzenphysiologie". 2. Aufl., Jena.
1891. Karsten, G., Über die Mangrove-Vegetation im Malayischen Archipel". Eine morphologisch-biologische Studie. Bibliotheca Botanica.
1904. Krafft, F., „Anorganische Chemie", 5. Aufl.
1905. Lilienfeld, M., Über den Chemotropismus der Wurzel". Vorl. Mitt. Ber. d. D. B. G., Bd. XXIII.
1906. Ders., Beih. z. Bot. Zentralblatt, Bd. XIX.
1905. Luxburg, Graf H., „Untersuchungen über den Wachstumsverlauf bei der geotropischen Bewegung". Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XLI.
1888. Massart, J., „Recherches sur les organismes inférieurs". I. „La loi de Weber vérifiée pour l'héliotropisme d'un Champignon". Bull. Acad. Roy. d. Sc. de Belgique.
1894. Miyoshi, M., „Über Reizbewegungen der Pollenschläuche". Flora.
1894. Ders., „Über Chemotropismus der Pilze". Botanische Zeitung.
1905. Moisescu, N., „Kleine Mitteilung über die Anwendung des horizontalen Mikroskopes zur Bestimmung der Reaktionszeit". Ber. d. D. Bot. G., Bd. XXIII.
1884. Molisch, H., „Über die Ablenkung der Wurzeln von ihrer normalen Wachstumsrichtung durch Gase". Sitzungsber. d. K. Akad. d. Wiss. zu Wien, Math. Nat. Kl., Bd. XC.
1893. Ders., „Zur Physiologie des Pollens mit besonderer Rücksicht auf die chemotropischen Bewegungen der Pollenschläuche". Sitzungsber. der K. Akad. d. Wiss. zu Wien. Math. Nat. Kl., Bd. CII, Abt. I.
1907. Nathanson, M. und Pringsheim, E., „Über die Summation intermittierender Lichtreize". Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XLV.
1901. Neljubow, D., „Über die horizontale Nutation der Stengel von Pisum sativum und einiger anderer Pflanzen". Vorl. Mitt. Beih. z. Bot. Z., Bd. X.
1904. Newcombe, C., and Rhodes, A., „Chemotropism of roots". Bot. Gazette, Vol. XXXVII.
1908. Ders., „Gravitation sensitiveness not confined to apex of root". Beih. z. Bot. Zentralbl., Bd. XXIV, 1. Abt.
1888. Noll, Fr., „Beitrag zur Kenntnis der physikalischen Vorgänge, welche den Reizkrümmungen zugrunde liegen". Arb. d. Bot. Inst. Würzburg, Bd. III.

1892. Ders., „Über heterogene Induktion". Versuch eines Beitrags zur Kenntnis der Reizerscheinungen der Pflanzen. Leipzig.
1902. Ders., „Zur Kontroverse über den Geotropismus". Ber. d. D. Bot. Ges. Bd. XX.
1897. Oltmanns, Fr., „Über positiven und negativen Heliotropismus". Flora.
1877. Perseke, K., „Über die Formveränderung der Wurzel in Erde und Wasser". Inaug.-Diss., Leipzig.
1883. Pfeffer, W., „Lokomotorische Richtungsbewegungen durch chemische
1884. Reize". Ber. d. D. Bot. Ges., Bd. I. — Unters. aus d. Bot. Inst. zu Tübingen, Bd. I.
1885. Ders., „Zur Kenntnis der Kontaktreize". Unters. aus d. Bot. Inst. zu Tübingen, Bd. I.
1888. Ders., „Über chemotaktische Bewegungen von Bakterien, Flagellaten und Volvocineen". Unters. aus d. Bot. Inst. zu Tübingen, Bd. II.
1897. Ders., „Pflanzenphysiologie", Bd. I, 2. Aufl.
1904. Ders., „Pflanzenphysiologie", Bd. II, 2. Aufl.
1907. Polowzow, W., „Experimentelle Untersuchungen auf dem Gebiete der Tropismen". Vorl. Mitt. Journal Botanique. St. Petersburg.
1908. Dies., „Experimentelle Untersuchungen über die Reizerscheinungen der Pflanzen, mit besonderer Berücksichtigung der Einwirkung von Gasen". Vorl. Mitt. Ber. d. D. Bot. Ges., Bd. XXVI a.
1908. Porodko, Th., „Nimmt die ausgewachsene Region des orthotropen Stengels an der geotropischen Krümmung teil?" Ber. d. D. Bot. Ges., Bd. XXVI a.
1907. Pringsheim und Nathanson. S. Nathanson.
1904. Rhodes, A. and Newcombe, Fr., S. Newcombe.
1902. Richter, E., „Zur Frage nach der Funktion der Wurzelspitze". Inaug.-Diss., Wien.
1906. Richter, O., „Über den Einfluß verunreinigter Luft auf Heliotropismus und Geotropismus". Sitzungsber. der Kais. Akad. d. Wiss. zu Wien, Math. Nat. Kl., Bd. CXV.
1894. Rothert, Wl., „Zur Streitfrage über die Funktion der Wurzelspitze". Eine kritische Literaturstudie. Flora.
1896. Ders., „Über Heliotropismus". Cohns Beitr., Bd. VII.
1875. Sachs, J., „Geschichte der Botanik vom 16. Jahrh. bis 1860". München.
1882. Ders., „Vorlesungen über Pflanzenphysiologie". Leipzig.
1893. Ders., „Gesammelte Abhandlungen über Pflanzenphysiologie, Bd. II.
1905. Sammet, R., „Untersuchungen über Chemotropismus und verwandte Erscheinungen bei Wurzeln, Sprossen und Pilzfäden". Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XLI.
1906. Schellenberg, H. C., „Untersuchungen über den Einfluß der Salze auf die Wachstumsrichtung der Wurzeln, zunächst an der Erbsenwurzel". Flora, Bd. XCVI.
1886. Schenck, H., „Vergleichende Anatomie der submersen Gewächse" Bibliotheca Botanica.

1889. Ders., „Über die Luftwurzeln von Avicennia tomentosa und Laguncularia racemosa“. Flora.
1889. Ders., „Über das Aerenchym, ein dem Kork homologes Gewebe bei Sumpfpflanzen“. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XX.
1905. Seliber, G., „Variationen von Jussieua repens mit besonderer Berücksichtigung des bei der Wasserform vorkommenden Aerenchyms“. Abh. d. kais. Leop. Karol. D. Akad. d. Naturf., Bd. LXXXIV.
1901. Steyer, K., „Reizkrümmungen bei Phycomyces nitens“. Diss. Pegau.
1905. Tondera, M. F., „Über den Einfluß des Luftstromes auf wachsende Sprosse“. (Sur l'influence du courant d'air sur les pousses en croissance). Bull. intern de l'Acad. d. Sc. de Cracovie. Cl. d. ac. math. et nat., No. 9.
1902. Trzebiński, J., „Über den Einfluß verschiedener Reize auf das Wachstum von Phycomyces nitens“. Bull. de l'Ac. d. Sc. de Cracovie. Cl. d. Sc. math. et nat.
1905. Wächter, W., „Chemonastische Bewegungen der Blüten von Callisia repens“. Ber. d. D. Bot. Ges., Bd. XXIII.
1898. Wacker, J., „Die Beeinflussung des Wachstums der Wurzeln durch das umgebende Medium“. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXXII.
1885. Warming, E., „Über die Wurzeln von Avicennia“. Bot. Zentralblatt, Bd. XXI.
1896. Ders., „Lehrbuch der ökologischen Pflanzengeographie“. Eine Einführung in die Kenntnis der Pflanzenvereine“. Berlin. Übers. von Knoblauch.
1903. Weingart, „Negativ geotrope Wurzeln“. Monatsschr. f. Kakteenkunde, Bd. XIII. Mitg. von K. Schumann.
1898. Wieler, A., „Die Funktion der Pneumathoden und des Aerenchyms“. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXXII.
1882. Wiesner, J., „Die heliotropischen Erscheinungen im Pflanzenreiche“. Eine physiologische Monographie. II. T. Denkschr. der kais. Akad. d. Wiss. zu Wien. Math. Nat. Kl., Bd. XLIII.
1902. Wundt, W., „Grundzüge der physiologischen Psychologie“, Bd. II. 5. Aufl. Leipzig.

Literatur-Verzeichnis

für den

methodologischen Teil.

1907. Becher, E., „Philosophische Voraussetzungen der exakten Naturwissenschaften", Leipzig.

1908. Bechterew, W., „Psyche und Leben". Wiesbaden, 2. Aufl.

1899. Beer, Th., Bethe, B., und Uexküll, J., „Vorschläge zu einer objektivierenden Nomenklatur in der Physiologie des Nervensystems". Zentralbl. f. Phys., Bd. XIII.

1895*[1]). Biedermann, W., „Elektrophysiologie". Jena.

1902. Bose, J. Ch., „Electric Response in Ordinary Plants under Mechanical Stimulus". The Journ. of the Linn. Soc., Vol. XXXV.

1900. Burdon-Sanderson, J., „On the Relation of Motion in Animals and Plants to the Electrical Phenomena which are associated with it". Proc. of the Royal Soc. of London, Vol. LXV.

1906. Cajal, Ramon y, „Studien über die Hirnrinde des Menschen". Leipzig.

1898*. Czapek, Fr., „Weitere Beiträge zur Kenntnis der geotropischen Reizbewegungen". Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXXII.

1880. Darwin, Ch., „The Power of Movements in Plants". London.

1906/07. Darwin, Fr., „Lectures on the Physiology of movement in plants". The New Phytologist, Vol. V, VI.

1892. Darwin, Fr. and Pertz, D., „On the Artificial Production of Rhythm in Plants". Ann. of Bot., Vol. VI.

1900. Dies., „Experiments on the Periodic Movements of Plants". Proc. of the Cambr. Phil. Soc., Vol. X.

1903. Dies., „On the Artificial Production of Rhythm in Plants, with a note on the position of maximum heliotropic stimulation". Ann. of Bot., Vol. XVII.

1826. Dutrochet, M. H., „L'agent immédiat du mouvement vital, dévoilé dans sa nature et dans son mode d'action chez les végétaux et chez les animaux". Paris, Londres.

1) Die Arbeiten, die auch im experimentellen Teile zitiert wurden, sind mit einem * versehen.

1905*. Ebbinghaus, H., „Grundzüge der Psychologie", Bd. I, 2. Aufl.
1907. Erdmann, Benno, „Logik". Halle. Bd. I, 2. Aufl.
1907. Ders., „Wissenschaftliche Hypothesen über Leib und Seele". Köln.
1888. Errera, L., S. Massart (Besprechung der Arbeit von Massart). Bull. de l'Acad. Royal d. Sc. de Belgique, S. 552.
1898. Famintzin, A., „Die moderne Naturwissenschaft und Psychologie". St. Petersburg.
1899. Fechner, G. Th., „Nanna oder Über das Seelenleben der Pflanzen", 2. Aufl.
1904. Ders., „Die Tagesansicht gegenüber der Nachtansicht", 2. Aufl.
1905*. Fitting, H., „Untersuchungen über den geotropischen Reizvorgang". Jahrb. für wiss. Bot., Bd. XLI.
1907. Ders., „Reizleitungsvorgänge bei den Pflanzen". Eine physiologische Monographie. S.-Abdr. aus d. Erg. der Phys. I. T. 1905, II. T. 1906.
1905. Franeé, R. H., „Das Sinnesleben der Pflanzen". Stuttgart.
1907. Ders., „Grundriß einer Pflanzenpsychologie, als einer neuen Disziplin induktiv forschender Naturwissenschaft". Zeitschr. für den Ausbau der Entwicklungslehre, I. Jahrg.
1904*. Haberlandt, G., „Physiologische Pflanzenanatomie". Leipzig, 3. Aufl.
1905. Ders., „Die Lichtsinnesorgane der Laubblätter". Leipzig.
1905. Ders., „Über den Begriff »Sinnesorgane« in der Tier- und Pflanzenphysiologie". Biol. Zentralbl., Bd. XXV.
1906. Ders., „Sinnesorgane im Pflanzenreiche zur Perzeption mechanischer Reize". Leipzig, 2. Aufl.
1906. Ders., „Bemerkungen zur Statolithentheorie". Jahrb. für wiss. Botanik, Bd. XLII.
1903. Helmholtz, H. v., „Vorträge und Reden", Bd. I, 5. Aufl.
1908. Herbertz, R., „Bewußtsein und Unbewußtes". Köln.
1902. Kienitz-Gerloff, F., „Neue Studien über Plasmodesmen". Ber. d. D. Bot. Ges., Bd. XX.
1900. Kuhla, Fr., „Die Plasmaverbindungen bei Viscum album". Bot. Ztg.
1908*. Jost, L., „Vorlesungen über Pflanzenphysiologie". Jena, 2. Aufl.
1890. Loeb, J., „Der Heliotropismus der Tiere und seine Übereinstimmung mit dem Heliotropismus der Pflanzen". Würzburg.
1899. Ders., „Einleitung in die vergleichende Gehirnphysiologie und vergleichende Psychologie mit besonderer Berücksichtigung der wirbellosen Tiere". Leipzig.
1906. } Lotsy, J. P., „Vorlesungen über Deszendenztheorien" mit besonderer
1908. } Berücksichtigung der botanischen Seite der Frage. I. T., II. T.
1900. Mach, E., „Die Prinzipien der Wärmelehre". Leipzig, 2. Aufl.
1905. Ders., „Erkenntnis und Irrtum". Leipzig.
1888*. Massart, J., „Recherches sur les organismes inférieurs". I. La loi de Weber vérifiée pour l'héliotropisme d'un Champignon. Bull. Ac. Roy. d. Sc. de Belgique.

1902. Ders., „Versuch einer Einteilung der nicht nervösen Reflexe". (Auf Wunsch des Herrn Verfassers übersetzt aus den Ann. d. l'Inst. Pasteur 1901). Biol. Zentralbl., Bd. XXII.

1877. Mill, J. St., „System der deduktiven und induktiven Logik", 4. deutsche Aufl., nach dem 8. des Originals. Braunschweig.

1894*. Miyoshi, M., „Über Chemotropismus der Pilze". Bot. Ztg.

1907*. Nathanson, A., und Pringsheim, E., „Über die Summation der intermittierenden Lichtreize". Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XLV.

1901. Némeç, B., „Die Reizleitung und die reizleitenden Strukturen bei den Pflanzen". Jena.

1892*. Noll, F., „Über heterogene Induktion". Versuch eines Beitrages zur Kenntnis der Reizerscheinungen der Pflanzen. Leipzig.

1896. Ders., „Das Sinnesleben der Pflanzen". Vortrag, geh. bei dem Jahresfeste der Senckenberg. Naturf.-Ges. S.-Abdr. aus d. Ber. derselben.

1900. Ders., „Über Geotropismus". Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXXIV.

1902*. Ders., „Zur Kontroverse über den Geotropismus". Ber. d. D. Bot. Ges., Bd. XX.

1892. Oltmanns, Fr., „Über die photometrischen Bewegungen der Pflanzen. Flora.

1892.
1900. Pertz, D., and Darwin, Fr. s. Darwin, Fr.
1903.

1875. Pfeffer, W., „Die periodischen Bewegungen der Blattorgane". Leipzig.

1883*.
1894*. Ders., „Lokomotorische Richtungsbewegungen durch chemische Reize". Ber. d. D. Bot. Ges., Bd. I. Unters. aus d. Bot. Inst. zu Tüb., Bd. I.

1885*. Ders., „Zur Kenntnis der Kontaktreize". Unters Bot. Inst. Tübingen, Bd. I.

1888*. Ders., Über chemotaktische Bewegungen von Bakterien, Flagellaten und Volvocineen". Unters. Bot. Inst. Tübingen, Bd. II.

1893. Ders., „Die Reizbarkeit der Pflanzen". Ges. D. Naturf. u. Ärzte. Verh. Allg. Teil. Leipzig.

1897*. Ders., „Pflanzenphysiologie", Bd. I. Leipzig.

1908. Plate, L., „Selektionsprinzip und Probleme der Artbildung", Leipzig.

1907. Pringsheim, E., „Einfluß der Beleuchtung auf die heliotropische Stimmung". Cohns Beiträge zur Biol. der Pflanzen, und

1907*. Ders. und Nathanson, A., s. Nathanson.

1896*. Rothert, W., „Über Heliotropismus". Cohns Beiträge, Bd. VII.

1875*. Sachs, J., „Geschichte der Botanik vom 16. Jahrh. bis 1860", München.

1882*. Ders., „Vorlesungen über Pflanzenphysiologie". Leipzig.

1892. Ders., „Gesammelte Abhandlungen über Pflanzenphysiologie", Leipzig, Bd. I.

1898. Schimper, A. F. W., „Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage". Jena.

1908. Semon, R., „Die Mneme als erhaltendes Prinzip im Wechsel des organischen Geschehens", Leipzig 2. verb. Aufl. (1. Aufl. 1904.)
1904. Sigwart, Ch., „Logik", Bd. II. „Die Methodenlehre", 3. Aufl.
1901. Strasburger, Ed., „Über Plasmaverbindungen pflanzlicher Zellen". Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXVI.
1879/81. Tangl, Ed., „Über offene Kommunikationen zwischen den Zellen des Endosperms einiger Samen", Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XII.
1902. Tompa, Arth., „Beiträge zur pflanzlichen Elektrizität", Beih. z. Bot. Zentralbl., Bd. XII.
1899. Uexküll, J. v., Bethe A. u. Beer, Th. s. Beer.
1900. Ders., „Über die Stellung der vergleichenden Physiologie zur Hypothese der Tierseele", Biol. Zentralbl., Bd. XX.
1889. Verworn, M., „Psycho-Physiologische Protistenstudien", Jena.
1900. Wassmann, E., „Einige Bemerkungen zur vergleichenden Psychologie und Sinnesphysiologie", Biol. Zentralbl., Bd. XX.
1902*. Wundt, W., „Grundzüge der physiologischen Psychologie", Leipzig, 5. Aufl.
1906. Ders., „Vorlesungen über die Menschen und Tierseele", 4. Aufl.
1906. Ders., „Logik", Bd. I. „Allgemeine Logik und Erkenntnistheorie", 3. Aufl.
1907. Ders., „Logik", Bd. II. „Logik der exakten Wissenschaften", 3. Aufl.
1908. Ziehen, Th., „Leitfaden der physiologischen Psychologie", 8. Aufl.

Druck von Ant. Kämpfe in Jena.

Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. Von Dr. **Ludwig Jost**, Prof. an der landwirtschaftlichen Akademie Bonn-Poppelsdorf. Zweite Auflage. 1904. Preis: brosch. 13 Mark, geb. 15 Mark.

Flora 1904, Bd. XCIII, H. 2 sagt über die erste Auflage:

Die Darstellung ist klar, kritisch und reichhaltig und oft durch historische Rückblicke belebt. Die Jostschen Vorlesungen werden deshalb als eine treffliche Einführung in das Studium der Pflanzenphysiologie begrüßt werden. Auch für Berufstechniker ist das Buch wertvoll durch die eingehende Berücksichtigung und Diskussion, welche die neuere pflanzenphysiologische Literatur in ihm gefunden hat. Solche orientierende Darstellungen sind ja um so notwendiger, je mehr die Entwicklung der Botanik es unmöglich macht, in allen ihren Gebieten die Literatur zu verfolgen, besonders aber in der Physiologie, welche die Grundlage für alle anderen Teile der Botanik darstellt.

Leuchtende Pflanzen. Eine physiologische Studie. Von Prof. Dr. **Hans Molisch**, Direktor des pflanzenphysiologischen Instituts der K. K. Univ. Prag. Mit 2 Tafeln und 14 Textfiguren. 1904. Preis: 6 Mark.

Die Reizleitung und die reizleitenden Strukturen bei den Pflanzen. Von Dr. B. **Němeč**, Privatdozent der Botanik an der K. K. böhmischen Universität in Prag. Mit 3 Tafeln und 10 Textabbildungen. 1901. Preis: 7 Mark.

Morphologie und Biologie der Algen. Von Dr. **Friedrich Oltmanns**, Prof. der Botanik an der Universität Freiburg i. Br. 1904/05. Erster Band. Spezieller Teil. Mit 3 farbigen und 473 schwarzen Abbildungen im Text. Preis: 20 Mark. Zweiter Band. Allgemeiner Teil. Mit 3 Tafeln und 50 Textabbildungen. Preis: 12 Mark.

Botanische Zeitung Nr. 23 vom 1. Dez. 1904, Jahrg. 62:

Eine umfassende Darstellung der Morphologie der Algen war seit langer Zeit ein Bedürfnis. Die Literatur, deren wichtigste Erscheinungen bei jedem Kapitel in einem Anhang folgen, ist sehr vollständig zusammengetragen und durch eine Fülle von Abbildungen, unter denen eine ganze Reihe von Originalen sind, wird der Text erläutert. Die Behandlung des Stoffes ist klar und durchsichtig und das ganze Buch in einem frischen Ton geschrieben.

Versuch einer phylogenetischen Erklärung des Embryosackes und der doppelten Befruchtung der Angiospermen. Vortrag, gehalten auf der 79. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Dresden am 16. Sept. 1907. Von Dr. **Otto Porsch**, Privatdozent für systematische Botanik an der K. K. Universität in Wien. Mit 14 Textabbildungen. 1907. Preis: 1 Mk. 50 Pfg.

Pflanzen-Geographie auf physiologischer Grundlage. Von Dr. **A. F. Schimper**, weil. a. o. Prof. an der Universität Bonn. Mit 502 als Tafeln oder in den Text gedruckten Abbildungen in Autotypie, 5 Tafeln in Lichtdruck und 4 geographischen Karten. Zweite unveränderte Auflage. 1908. Preis: 27 Mark, geb. 30 Mark.

Praktikum für morphologische und systematische Botanik. Hilfsbuch bei praktischen Übungen und Anleitung zu selbständigen Studien in der Morphologie und Systematik der Pflanzenwelt. Von Professor Dr. **Karl Schumann**, weil. Kustos am Königlichen Botanischen Museum und Privatdozent an der Universität zu Berlin. Mit 154 Figuren im Text. 1904. Preis: 13 Mark, geb. 14 Mark.

Pharmazeutische Zeitung 1904, Nr. 75:

Das Buch hat sicherlich großen praktischen Wert. Wir wissen ja alle, wie wenig die botanische Systematik und die vergleichende Morphologie der Pflanzen sich zum Auswendiglernen eignet. Das muß man sehen und von jeder einzelnen Familie einige hervorragende Vertreter von der Wurzel bis zur äußersten Spitze selbst präparieren oder vergleichen, wenn mit Verständnis Botanik getrieben werden soll. Und hierzu gibt das Schumannsche Praktikum vorzügliche Anleitung.

Von Prof. Dr. Eduard Strasburger,

o. ö. Professor der Botanik an der Universität Bonn

erschienen u. a.:

Histologische Beiträge.

Heft 1: Ueber Kern- und Zellteilung im Pflanzenreiche nebst einem Anhang über Befruchtung. Mit 3 lithographischen Tafeln. 1888. Preis: 7 Mark.

Heft 2: Ueber das Wachstum vegetabilischer Zellhäute. Mit 4 lithographischen Tafeln. 1889. Preis: 7 Mark.

Heft 3: Ueber den Bau und die Verrichtungen der Leitungsbahnen in den Pflanzen. Mit 5 lithograph. Tafeln und 17 Abbildungen im Text. 1891. Preis: 24 Mark.

Heft 4: Das Verhalten des Pollens und die Befruchtungsvorgänge bei den Gymnospermen. — Schwärmsporen, Gameten, pflanzliche Spermatozoiden und das Wesen der Befruchtung. Mit 3 lithographischen Tafeln. 1892. Preis: 7 Mark.

Heft 5: Ueber das Saftsteigen. — Ueber die Wirkungssphäre der Kerne und die Zellgrösse. 1983. Preis: 2 Mark 50 Pf.

Heft 6: Ueber Reduktionsteilung, Spindelbildung, Centrosomen und Cilienbildner im Pflanzenreich. 1900. Preis: 10 Mark 50 Pf.

Studien über Protoplasma. Mit 2 Tafeln. Abdr. a. d. Jena. Zeitschrift. 1876. Preis: 2 Mark 40 Pf.

Über die Bedeutung der phylogenetischen Methoden für die Erforschung lebender Wesen. Rede, gehalten beim Eintritt in die philosophische Fakultät der Universität Jena am 2. August 1873. 1874. Preis: 1 Mark 20 Pf.

Über den Bau und das Wachstum der Zellhäute. Mit 8 Tafeln. 1882. Preis: 10 Mark.

Zellbildung und Zellteilung. Dritte völlig umgearbeitete Auflage. Mit 14 Tafeln und 1 Holzschnitt. 1880. Preis: 15 Mark.

Das Protoplasma und die Reizbarkeit. Rede zum Antritt des Rektorates der Rhein. Friedrich Wilhelms-Universität am 1. Oktober 1891. 1891. Preis: 1 Mark.

Wirkung des Lichtes und der Wärme auf Schwärmsporen. Abdr. a. d. Jen. Zeitschrift 1878 N. F., Bd. V. Preis: 1 Mark 60 Pf.

Die Angiospermen und Gymnospermen. Mit 22 Tafeln. 1879. Preis: 25 Mark.

Neue Untersuchungen über den Befruchtungsvorgang bei den Phanerogamen als Grundlage für eine Theorie der Zeugung. Mit 2 lithographischen Tafeln. 1884. Preis: 5 Mark.

Parthenogenesis und Apogamie im Pflanzenreiche. Von Dr. **Hans Winkler**, a. o. Prof. an der Universität Tübingen. Mit 14 Abbildungen im Text. Sonderabdruck aus „Progressus rei botanicae“ herausgegeben von Dr. J. P. Lotsy. Zweiter Band. Drittes Heft. 1908. Preis: 4 Mark 50 Pf.

Druck von Ant. Kämpfe in Jena.

New York Botanical Garden Library
QK771 .P64
Polowzow, Warwara/Untersuchungen uber Re gen
3 5185 00039 6547